



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Monitoreo de indicadores durante el transporte de un
tanque de leche en comunidades altoandinas aplicando
redes LPWAN**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Electrónica

AUTOR

Libia Benacir ROMERO ESCOBEDO

ASESOR

Dr. Nicanor Raúl BENITES SARAVIA

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Romero, L. (2020). *Monitoreo de indicadores durante el transporte de un tanque de leche en comunidades altoandinas aplicando redes LPWAN*. Tesis para optar el título de Ingeniera Electrónica. Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Hoja de metadatos complementarios

- **Código ORCID del autor:** --
- **Código ORCID del asesor:** --
- **DNI o pasaporte del autor:** 0000-0002-3245-6470
- **Grupo de investigación:** 70277421
- **Institución que financia la investigación:** --

Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación:

Distrito de Chilca, provincia de Cañete 12°31'07"S 76°44'17"O

- **Año o rango de años que la investigación abarcó:**

1ro de setiembre 2019-15 de febrero del 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 001-VDAC-UMRAGT-FIEE/2020

**TESIS N° 001-FIEE/2020 PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERA ELECTRÓNICA**

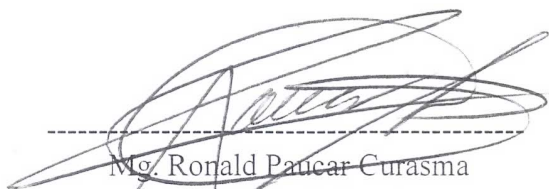
Los suscritos Miembros de Jurado, nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, reunidos en la fecha bajo la Presidencia del Mg. Ronald Paucar Curasma e integrado por los Ingenieros: Mg. Ricardo Yauri Rodríguez, Mg. Jean Carlos Malca Fernández y el Dr. Nicanor Raúl Benites Saravia (Miembro - Asesor)

Después de escuchar la Sustentación de Tesis de la Bachiller **ROMERO ESCOBEDO, Libia Benacir (11190110)**, para optar el Título Profesional de Ingeniera Electrónica por la modalidad de Titulación Ordinaria, quien expuso su **TESIS: "MONITOREO DE INDICADORES DURANTE EL TRANSPORTE DE UN TANQUE DE LECHE EN COMUNIDADES ALTOANDINAS APLICANDO REDES LPWAN"**.

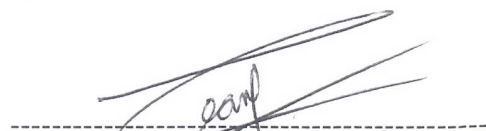
Se acordó..... APROBARpor..... UNANIMIDAD

Con la Nota de..... DIECISEIS(16)

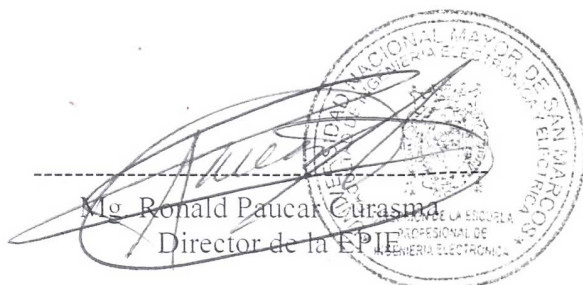
Ciudad Universitaria, 20 de febrero de 2020

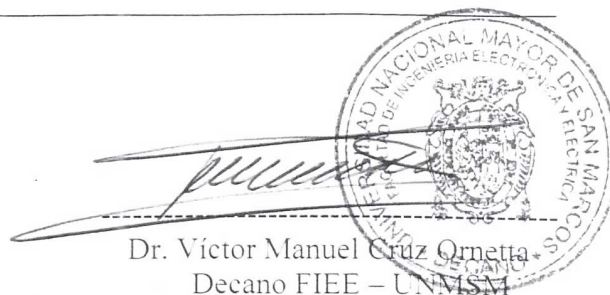

Mg. Ronald Paucar Curasma
Presidente de Jurado


Mg. Ricardo Yauri Rodríguez
Miembro de Jurado


Mg. Jean Carlos Malca Fernández
Miembro de Jurado


Dr. Nicanor Raúl Benites Saravia
Miembro de Jurado-Asesor


Mg. Ronald Paucar Curasma
Director de la EPIE


Dr. Víctor Manuel Cruz Ornetta
Decano FIEE – UNMSM

Dedicatoria

Dedico este trabajo en primer lugar a Norbert Andrei, mi hermano, sin él nunca hubiera podido haber hecho este trabajo realidad. A mis padres por la ayuda económica y psicológica ardua que me entregaron sin condición. A mis compañeros y amigos lejanos auténticos e incomparables ante muchas cosas. Y, por último, a mi persona por no haberse permitido hundirse en la ignorancia y desilusión que el mundo en algún momento me brindó. Gracias.

Agradecimientos

Un abrazo y sincero agradecimiento a las cuatro instituciones que me abrieron sus puertas, a mi asesor y profesores que me dieron la mano cuando más lo necesitaba, aun a pesar de la lejanía. Gracias conjuntas a la Universidad Nacional Mayor San Marcos, a la Pontificia Universidad Católica del Perú, al Instituto Superior Tecnológico TECSUP y la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile.

Sobre todo, un especial agradecimiento a la Srta. Margit Gere Salas (AGCID-Chile) y al ingeniero José Llantén Álvarez (UTFSM-Chile), sin olvidar a la empresa PATCOR que me brindó la información, utensilios y ayuda incondicional.

Resumen

En la actualidad, la industria lechera peruana se encuentra en expansión. Un modelo de esta expansión se encuentra en la provincia altiplánica de Puno; donde la aplicación de métodos ecológicos y de procesos de monitoreo semi-manual de estándares de calidad logran hacer de esta provincia un importante espacio en el avance de proyectos de estandarización de insumos a nivel nacional. Sin embargo, este modelo de crecimiento todavía se queda rezagado respecto a grandes industrias multinacionales e importantes mercados internacionales debido a la insuficiencia tecnológica digital en favor del aumento del volumen y garantía de la leche ofertada. Por ello, antes de desarrollar el presente proyecto integrador se encontró una deficiencia en la industria lechera y un espacio importante para la aplicación favorable de un sistema de monitoreo digital que logre eliminar la valla tecnológica que nos diferencia del resto de industrias de primer nivel, mejore la calidad del insumo ofertado y elimine todo impedimento para el crecimiento del volumen de leche ofertada.

Entonces, en este proyecto se ha diseñado un sistema de monitoreo digital de control de calidad para medir, controlar y manipular datos específicos de un insumo importante en la dieta peruana: la leche. Entre los datos a medir de dicho insumo se encuentran el nivel de temperatura, el valor de pH, la geolocalización via GPS del medio de transporte de la leche hasta el centro de acopio, entre otros. Para lograrlo se aplicó tecnología inalámbrica LoRa, la cual utiliza un tipo de modulación de radiofrecuencia de nombre *Chirp Spread Spectrum*, asociado para codificar poca información vía ondas de radiofrecuencia a muy largas distancias. Asimismo, este tipo de modulación no solo se traduce en la simple transmisión de datos a largas distancias, sino presenta otros rasgos considerables para la realización del diseño de este proyecto. Entre estos rasgos se pueden enunciar la elevada tolerancia a interferencias externas,

alta sensibilidad a la recepción de datos, bajo consumo energético, transferencia de información a gran escala, gran catálogo de recepción en frecuencias de trabajo, etc.

Ahora, para lograr la demostración práctica se tuvo que hacer uso de un sistema de redes LPWAN en conjunto con el protocolo de acceso LoRaWAN de la industria LoRa. Primero se planteó la necesidad de hallazgo de una red que soporte el traslado de pocas cantidades de información a largas distancias y a muy bajo costo energético, una red LPWAN (Low Power Wide Area Network). Segundo, se desarrolló un prototipo partiendo de un dispositivo comúnmente usado como LoRa Gateway LG01-N, el cual hace uso de un componente estándar en la transmisión de redes, Arduino UNO. Y, por último, se sumó a dicho dispositivo un conjunto de gadgets electrónicos asociados que ayuden la medición de factores intrínsecos del insumo deseado (Sensor DS18B20, pHmetro, Antena 433 MHz, Módulo RF98, Módulo GPS u-blox NEO-6M). En suma, el trabajo en conjunto del módulo LoRa y los gadgets asociados a dicho módulo generaron una onda de radiofrecuencia específica para el traslado de poca información a muy largas distancias y con muy bajo consumo energético. Lo que, en general, se traduce en un nuevo método eficiente y digitalizado para el control de calidad de un insumo importante en la dieta peruana y, finalmente, un primer paso necesario para en la modernización de procedimientos de control y medición de insumos en la industria peruana.

Palabras claves: Puno, Leche, Lora Gateway LG01-N, Arduino UNO, Ondas de Radiofrecuencia, Modernización de procedimientos.

Abstract

At present, the Peruvian Milk industry is in expansion. A model of this expansion can be found in a plateau province of Puno Region, where the application of ecological methods and semi-manual monitoring processes of quality standards, have made this province an important space in the advancement of supplies standardization projects at a national level. However, this growing model still lags behind large multinational industries and important international markets due to the insufficiency of digital technology in favor of increasing the volume and guarantee of the milk offered. For this reason, before developing the present integrating project, a deficiency was found in the milk industry and an important space for the favorable application of a digital monitoring system that manages to eliminate the technological fence that differentiates us from the rest of the first level industries, improves the quality of the offered input and eliminates all impediments for the growth of the volume of offered milk.

Therefore, in this project a digital quality control monitoring system has been designed to measure, control and manipulate specific data of an important input in the Peruvian diet: milk. Among the data to be measured for this input are the temperature level, the pH value, and the geolocalization via GPS of the means of transporting the milk to the collection center, among others. To achieve this, LoRa wireless technology was applied, which uses a type of radio frequency modulation called Chirp Spread Spectrum, associated to encode little information via radio frequency waves at very long distances. Also, this type of modulation not only results in the simple transmission of data over long distances, but also presents other considerable features for the design of this project. Among these features we can mention the high tolerance to external interference, high sensitivity to data reception, low power consumption, large scale information transfer, large catalogue of reception in working frequencies, etc.

Now, to achieve the practical demonstration, an LPWAN network system had to be used in conjunction with the LoRaWAN access protocol of the LoRa industry. First, it was proposed

the need to find a network that supports the transfer of small amounts of information over long distances and at a very low energy cost, an LPWAN network (Low Power Wide Area Network). Second, a prototype was developed from a commonly used device like the LoRa Gateway LG01-N, which makes use of a standard component in network transmission, Arduino UNO. And finally, a set of associated electronic gadgets was added to this device to help measure intrinsic factors of the desired input (DS18B20 sensor, pHmeter, 433 MHz antenna, RF98 module, u-blox NEO-6M GPS module). In short, the joint work of the LoRa module and the gadgets associated to that module generated a specific radio frequency wave for the transfer of little information over very long distances and with very low energy consumption. This generally results in a new, efficient and digitized method for quality control of an important input in the Peruvian diet and, finally, a necessary first step in modernizing input control and measurement procedures in the Peruvian industry.

Keywords: Puno, Milk, Lora Gateway LG01-N, Arduino UNO, Radio Frequency Waves, Modernization of procedures.

Tabla de Contenidos

Capítulo 1	Introducción.....	1
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Importancia y justificación del proyecto	5
1.3	Delimitación del proyecto	7
1.3.1	Materiales utilizados	8
1.4	Objetivos.....	9
1.4.1	Objetivo general	9
1.4.2	Objetivos específicos.....	9
Capítulo 2	Marco teórico	10
2.1	Aseguramiento de la inocuidad en la leche y sus derivados lácteos	10
2.1.1	Calidad en la leche	11
2.1.1.1	Factor de calidad composicional	12
2.1.1.2	Factor de calidad higiénico – sanitaria	13
2.1.2	Acciones para evitar y/o separar contaminantes	14
2.1.3	Procedimiento en la producción de leche.....	15
2.1.3.1	Adecuación de zonas para producción de leche	15
2.1.3.2	La sanidad del ganado	16
2.1.4	Procedimiento en el almacenamiento y transporte de la leche.....	16
2.1.4.1	Equipos destinados para el almacenamiento de leche	16
2.1.4.2	Buenos procedimientos de recolección, transporte y distribución	17
2.1.4.3	Disposiciones adicionales en el transporte de leche	17
2.1.5	Puntos clave referentes a la calidad en la leche	18
2.2	Tecnología de monitoreo	18
2.2.1	Industria 4.0.....	18
2.2.2	IoT (Internet de las cosas)	20
2.2.2.1	Redes LPWAN	21
2.2.3	Comparación entre redes LPWAN.....	22
2.2.3.1	Weightless – W.....	23
2.2.3.2	LTE-M.....	23
2.2.3.3	Narrowband-IoT (NB-IoT).....	24

2.2.3.4	Sigfox	25
2.2.3.5	LoRa	26
2.3	Antecedentes.....	28
2.3.1	Antecedentes nacionales	28
2.3.1.1	Piloto de smart city, Municipalidad de San Isidro	28
2.3.1.2	Sensorización en generación y distribución eléctrica de Enel.....	29
2.3.1.3	Ferreycorp crea centro de monitoreo para vehículos Caterpillar	29
2.3.1.4	Hayduk presenta flota inteligente	29
2.3.1.5	Carros heladeros “más cerca de ti” Nestlé	30
2.3.1.6	Monitoreo de especie “Lama Guanicoe”	30
2.3.2	Antecedentes internacionales	31
2.3.2.1	Alpina, Colombia	31
2.3.2.2	Convenio para rastreo entre Oracle y Cisco	31
2.3.2.3	CORFO, Chile	32
2.3.2.4	CIIOT Fondo Mixto CONACYT – Jalisco, México	32
2.3.2.5	Apicultura a través de la nube con LPWAN, Argentina	32
2.3.2.6	Agricultura 4.0 adopción de recursos digitales, Brasil	33
2.4	Base teórica de la Radiofrecuencia.....	33
2.4.1	Frecuencia de transmisión en el espectro electromagnético	34
2.4.2	Comportamiento de Radio Frecuencia	35
2.4.3	Ganancia.....	35
2.4.4	Pérdida de Retorno	35
2.4.5	Propiedades de la Radio Frecuencia.....	36
2.4.5.1	Reflexión	36
2.4.5.2	Refracción.....	36
2.4.5.3	Difracción	37
2.4.6	Principios de Antenas.....	38
2.4.6.1	Línea de Vista (LoS)	39
2.4.6.2	Zona de Fresnel	39
2.4.6.3	Ganancia de la antena	40
2.4.7	Propagación de la tecnología del espectro	40
2.4.7.1	Necesidad de modular	41
2.4.7.2	Espectro de potencia y energía	42

2.4.7.3	Ruido Térmico.....	42
2.4.7.4	Factor de Ruido (F) y cifra de ruido (NF)	42
2.4.8	Unidades de medida	43
2.4.8.1	Vatios (W)	43
2.4.8.2	Decibelios (dB).....	43
2.4.8.3	Milivatio (mW).....	43
Capítulo 3	Metodología de desarrollo del proyecto	44
3.1	Tecnología a emplearse en la solución de monitoreo.....	44
3.1.1	Criterios en elección de tecnología LPWAN	44
3.1.2	Criterios en elección de tecnología para la unidad de control.....	45
3.1.3	Criterios en elección de tecnología para los sensores	47
3.1.3.1	Sensor de temperatura	47
3.1.3.2	Sensor de GPS	47
3.1.3.3	Sensor de pH.....	48
3.1.4	Criterios en elección de tecnología para implementación de red LPWAN....	49
3.1.4.1	Gateway LoRa	49
3.1.4.2	Shields y placas Arduino LoRa	50
3.2	Tecnología LoRa	51
3.2.1	Protocolo LoRaWAN.....	51
3.2.1.1	Plataforma TTN.....	52
3.2.2	Protocolo MQTT	55
3.2.2.1	Plataforma Thing Speak	56
3.3	Diseño de la solución.....	56
3.3.1	LoRa y la radiofrecuencia	56
3.3.1.1	Frecuencia de transmisión	57
3.3.1.2	Modo de transmisión	57
3.3.2	Esquema de solución de la arquitectura de comunicaciones.....	58
3.4	Esquema de solución del nodo sensor	59
3.4.1	Diagrama de bloques del nodo	59
3.4.1.1	Microcontrolador.....	60
3.4.1.2	Módulo amplificador de la señal	60
3.4.1.3	Sonda de pH	60
3.4.1.4	Sensor de temperatura	60

3.4.1.5	GPS UBLOX	60
3.4.1.6	Antena cerámica del GPS	60
3.4.1.7	Módulo de radiofrecuencia	61
3.4.1.8	Antena omnidireccional.....	61
3.5	Esquema de flujo del sistema de monitoreo	61
3.6	Componentes físicos del sistema de monitoreo.....	62
3.6.1.1	Gateway LG01-N LoRa	62
3.6.1.2	LoRa Shield	64
3.6.1.3	LoRa GPS Shield.....	65
3.6.1.4	Arduino UNO	66
3.6.1.5	GPS UBLOX Neo-6M	67
3.6.1.6	Sensor pH	68
3.6.1.7	DS18B20 sonda de temperatura	70
3.6.1.8	Display LCD 16x2.....	72
3.6.1.9	Adaptador de pantalla LCD 16x2 Serial I2C	74
3.6.1.10	Ra-02 Lora Module	75
3.6.1.11	Batería de Litio	76
3.6.1.12	Módulo LM2596 DC-DC	78
3.6.1.13	Antena Omnidireccional 433 MHz	78
3.6.2	Software para el sistema de monitoreo	79
3.6.2.1	LoRaWan Network.....	80
3.6.2.2	Arduino 1.8.9.....	80
3.6.2.3	Plataforma Open Source ThingSpeak	81
3.6.2.4	LoRa-MQTT.....	81
3.6.2.5	Putty Configuration	81
3.6.2.6	APP Inventor	82
Capítulo 4	Desarrollo de la solución	83
4.1	Preparación del dispositivo.....	84
4.1.1	Software para el dispositivo como nodo	84
4.1.2	Configuración del gateway LG01-N	85
4.1.3	Logros en la primera fase	86
4.2	Prueba con MQTT IoT Server.....	86
4.2.1	Tipología y flujo de datos.....	86

4.2.2	Configuración de sensor con canales en Thing Speak	86
4.2.3	Configuración gateway LG01-N	86
4.2.3.1	Creación de canal en ThingSpeak	89
4.2.3.2	Ingreso de valores en los parámetros del servidor MQTT	91
4.2.4	Programación en el microcontrolador	92
4.3	Diseño de tarjeta electrónica.....	98
4.4	Aplicación desarrollada en App Inventor	101
Capítulo 5	Resultados y evaluación del sistema	103
5.1	Calibración de los sensores.....	103
5.1.1	Sensor de pH	103
5.2	Pruebas en el distrito de Pueblo Libre	106
5.3	Pruebas en el distrito de Chilca	112
5.4	Evaluación Económica	119
5.5	Beneficios obtenidos.....	124
Capítulo 6	Conclusiones	125
Capítulo 7	Recomendaciones.....	127
	Referencias bibliográficas	129
Apéndice A:	Diagrama de bloques de APP Inventor pantalla 1	136
Apéndice B:	Diagrama de bloques App Inventor pantalla 2.....	137
Apéndice C:	Programación de prototipo y nodo A rojo	138
Apéndice D:	Programación de nodo B (amarillo).....	144
Apéndice E:	Hoja de especificaciones técnicas del peachímetro E-201-C.....	150
Apéndice F:	Hoja de especificaciones técnicas GY-NEO6M V2.....	153
Apéndice G:	Hoja de especificaciones técnicas de la sonda de temperatura DS18B20 ...	154
Apéndice H:	Hoja de especificaciones técnicas del Step Down LM2596	156
Apéndice I:	Hoja de especificaciones técnicas Arduino UNO	157
Apéndice J:	Hoja de especificaciones técnicas del gateway LG01-N	159
Apéndice K:	Hoja de especificaciones técnicas de LoRa Shield	160
Apéndice L:	Hoja de especificaciones técnicas LoRa Shield GPS.....	161
Apéndice M:	Videos del funcionamiento de las fases del proyecto	163
Apéndice N:	Tabla de datos del prototipo, prueba Chilca	164
Apéndice O:	Tabla de datos del nodo amarillo, prueba Chilca.....	169

Lista de Tablas

Tabla 1. Producción diaria de leche en toneladas métricas por países.....	2
Tabla 2. Lista de componentes por nodo.	9
Tabla 3. Factores que inciden sobre la calidad composicional	13
Tabla 4. Calidad Higiénico- Sanitaria	14
Tabla 5. Principales agentes contaminantes	15
Tabla 6. Principales cambios en la leche	18
Tabla 7. Bondades de la industria 4.0	20
Tabla 8. Comparación entre IoT y 4.0	21
Tabla 9. Comparación de tecnologías LPWAN	27
Tabla 10. Frecuencias de transmisión	34
Tabla 11. Cuadro de comparación en términos de costo y soporte.....	45
Tabla 12. Comparación entre Arduinos	46
Tabla 13. Comparación sensores de temperatura.....	47
Tabla 14. Comparación entre módulos GPS	48
Tabla 15. Comparación sondas de pH.....	49
Tabla 16. Comparacion Gateway Dragino	50
Tabla 17. Comparación de placas LoRa	51
Tabla 18. Descripción de los componentes del sistema de monitoreo.....	62
Tabla 19. Detalles técnicos de Gateway LG01-N	63
Tabla 20. Detalles técnicos de LoRa Shield.....	64
Tabla 21. Detalles técnicos de LoRa GPS Shield	65
Tabla 22. Detalles técnicos del Arduino UNO.....	66
Tabla 23 Detalles técnicos de GPS UBLOX Neo-6M.	67
Tabla 24. Detalles técnicos de sensor pH.....	69

Tabla 25. Detalles técnicos de sonda de temperatura DS18B20.....	71
Tabla 26. Detalles técnicos de Display LCD 16x2	73
Tabla 27. Detalles técnicos de adaptador I2C	74
Tabla 28. Detalles técnicos de Ra-02 LoRa	75
Tabla 29. Frecuencia y Spread factor.....	76
Tabla 30. Detalles técnicos de la Batería de Litio	77
Tabla 31. Detalle técnico del módulo reductor	78
Tabla 32. Detalles técnicos de Antena 433MHz	78
Tabla 33. Software del sistema de monitoreo	79
Tabla 34. Fases y tareas del proyecto.....	84
Tabla 35. Descripción de librerías LoRa.....	85
Tabla 36. Lista de componentes extraídos de Eagle	100
Tabla 37. Datos de temperatura nodo A.....	109
Tabla 38. Datos de pH nodo A.....	109
Tabla 39. Datos de Latitud nodo A	109
Tabla 40. Datos de Longitud nodo A	109
Tabla 41. Datos de la temperatura nodo B.....	110
Tabla 42. Datos del pH nodo B.....	110
Tabla 43. Datos de Latitud nodo B	111
Tabla 44. Datos de Longitud nodo B	111
Tabla 45. Consumo teórico de los elementos del nodo.....	112
Tabla 46. Datos del nodo A almacenados en Thing Speak.....	115
Tabla 47. Datos del nodo B almacenados en Thing Speak	116
Tabla 48. Inversión de activos tangibles e intangibles.....	120
Tabla 49. Capital de trabajo	121

Tabla 50. Inversión y Capital de Trabajo	122
--	-----

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Logotipo del programa PRADERA	3
<i>Figura 2.</i> Gastos en I+D como porcentaje del PBI.....	5
<i>Figura 3.</i> Diagrama de Ishikawa.....	7
<i>Figura 4.</i> Causas del desecho de leche	11
<i>Figura 5.</i> Vías y microorganismos que afectan la calidad de la leche	12
<i>Figura 6.</i> Comparación entre cantidad de datos y rango de las tecnologías inalámbricas ..	22
<i>Figura 7.</i> Ícono de Weightless	23
<i>Figura 8.</i> Logo de LTE-M	24
<i>Figura 9.</i> Logo de NB-IoT.....	25
<i>Figura 10.</i> Logo de SIGFOX	26
<i>Figura 11.</i> Logo de LoRa	26
<i>Figura 12.</i> Comparación gráfica de características comunes	28
<i>Figura 13.</i> Grupo de investigación “Lama Guanicoe”	31
<i>Figura 14.</i> Conexión entre objetos	33
<i>Figura 15.</i> Reflexión debido a una superficie.....	36
<i>Figura 16.</i> Reflexión debido a una superficie 2.....	37
<i>Figura 17.</i> Ondas de difracción	37
<i>Figura 18.</i> Camino seguido por las ondas Bosco	39
<i>Figura 19.</i> Line of Sight (LoS)	40
<i>Figura 20.</i> Antena de LoRa Gateway LG01-N.....	40
<i>Figura 21.</i> Componentes básicos de la transmisión.....	41
<i>Figura 22.</i> Capa de red Protocolo LoRaWAN.....	52
<i>Figura 23.</i> Icono de The Things Network	52
<i>Figura 24.</i> Gateway en TT	53

<i>Figura 25.</i> Configuración de gateway LG01-N	54
<i>Figura 26.</i> Lora Shield como end node	54
<i>Figura 27.</i> Creación de end node con GPS LoRa Shield.....	55
<i>Figura 28.</i> Protocolo MQTT Dragino.....	56
<i>Figura 29.</i> Sistema de comunicación digital.....	57
<i>Figura 30.</i> Arquitectura del sistema de monitoreo.	58
<i>Figura 31.</i> Componentes en el nodo	59
<i>Figura 32.</i> Diagrama de bloques del nodo.....	59
<i>Figura 33.</i> Esquema de flujo del sistema de monitoreo.....	61
<i>Figura 34.</i> Gateway LG01-N.....	63
<i>Figura 35.</i> Lora Shield	64
<i>Figura 36.</i> LoRa GPS Shield	66
<i>Figura 37.</i> Arduino UNO.....	67
<i>Figura 38.</i> GPS UBLOX Neo-6M.....	68
<i>Figura 39.</i> Sonda y detalles de la medida de pH	68
<i>Figura 40.</i> Circuito electrónico del acondicionador de señal	69
<i>Figura 41.</i> Sensor de pH.....	70
<i>Figura 42.</i> Diagrama de bloques funcionamiento.....	71
<i>Figura 43.</i> Sonda de temperatura DS18B20	72
<i>Figura 44.</i> Trama de bits.....	73
<i>Figura 45.</i> Protocolo I2C	73
<i>Figura 46.</i> Display 16x2	74
<i>Figura 47.</i> Adaptador I2C.....	75
<i>Figura 48.</i> Ra-02 LoRA.....	76
<i>Figura 49.</i> Batería de Litio.....	77

<i>Figura 50.</i> Fuente reductora LM2596	78
<i>Figura 51.</i> Antena 433MHz.....	79
<i>Figura 52.</i> LoRaWAN Network	80
<i>Figura 53.</i> Arduino 1.8.9	80
<i>Figura 54.</i> Ícono de ThingSpeak	81
<i>Figura 55.</i> Lora-MQTT	81
<i>Figura 56.</i> Programa Putty.....	81
<i>Figura 57.</i> Logo de APP Inventor.....	82
<i>Figura 58.</i> Puerto CH340 y Arduino	84
<i>Figura 59.</i> Conexión a internet.....	85
<i>Figura 60.</i> Interfaz LINUX del Gateway.....	85
<i>Figura 61.</i> Url de información dentro del canal	86
<i>Figura 62.</i> Servicio de IoT.....	87
<i>Figura 63.</i> Vista gráfica de spreading factor.....	88
<i>Figura 64.</i> Configuración de radio de cobertura.....	89
<i>Figura 65.</i> Canal creado en ThingSpeak	90
<i>Figura 66.</i> Creación de variables en ThingSpeak.....	90
<i>Figura 67.</i> Códigos de Thing Speak para MQTT	91
<i>Figura 68.</i> Servidor MQTT en LoRaWAN	91
<i>Figura 69.</i> Canal de sensores	92
<i>Figura 70.</i> Diagrama de flujo de la programación en el microcontrolador	93
<i>Figura 71.</i> Esquemático de nodo en el sistema de monitoreo	99
<i>Figura 72.</i> Diseño de Ra-02 en Eagle	99
<i>Figura 73.</i> Layout de la tarjeta electrónica	101
<i>Figura 74.</i> Pantallas de aplicación Monitoring.....	102

<i>Figura 75.</i> Dev-Kit Dragino	103
<i>Figura 76.</i> Soluciones Buffer.....	103
<i>Figura 77.</i> Dilución de Buffers.....	104
<i>Figura 78.</i> Recta de calibración de pH	104
<i>Figura 79.</i> Valor de pH 4.....	105
<i>Figura 80.</i> Valor de pH 6.....	105
<i>Figura 81.</i> Ubicación de estación de prueba de nodos A y B, distrito de Pueblo Libre ..	106
<i>Figura 82.</i> Esquema del módulo	107
<i>Figura 83.</i> Nodo A del sistema de monitoreo	108
<i>Figura 84.</i> Nodo B del sistema de monitoreo	108
<i>Figura 85.</i> Gráfico en Thing Speak nodo A.....	110
<i>Figura 86.</i> Gráfico en Thing Speak nodo B.....	111
<i>Figura 87.</i> Gráfico en Thing Speak nodo B.....	113
<i>Figura 88.</i> Prototipo Shield de radiofrecuencia	114
<i>Figura 89.</i> Gráfico en Thing Speak nodo A.....	114
<i>Figura 90.</i> Nodo B de monitoreo	115
<i>Figura 91.</i> Gráfico en Thing Speak nodo B.....	116
<i>Figura 92.</i> Comprobación en terreno distancia 1km	117
<i>Figura 93.</i> Comprobación en terreno distancia 2km	118
<i>Figura 94.</i> Comprobación en terreno distancia 3km	118
<i>Figura 95.</i> Desplazamiento gradual de los nodos	119

Capítulo 1

Introducción

1.1 Planteamiento del problema

El volumen de producción de leche a nivel mundial se encuentra liderado por la India con una producción de más de 174 millones de toneladas métricas anuales, le sigue la Unión Europea con 161 millones y, muy abajo, Estados Unidos, China, Rusia y Brasil con un promedio de 48 millones. Asimismo, estos países no son solo representativos en el volumen anual producido, sino son innovadores simultáneos en procesos donde la tecnología es el factor principal para asegurar la calidad del insumo ofertado. Sin embargo, sucede que, debido a la integración tecnológica acelerada para el crecimiento exponencial del insumo deseado, se tengan que implantar diferentes procesos hormonales que generen un producto transgénico y, tal vez no apto para el consumo de la leche. Ejemplo de esta integración acelerada, es la hormona somatotropina bovina recombinante (rBST), también denominada hormona recombinante de crecimiento bovino (rBGH), la cual es una versión artificial de la proteína natural que ayuda a los vacunos a producir leche (USDA, 2003). Asimismo, también se debe hacer mención de la cantidad de pesticidas y procedimientos químicos asociados a la calidad de la comida que se da al ganado vacuno. Entre estos, los organofosforados, organoclorados, carbamatos y triazinas (EPA, 2014). Aunque, a pesar de no existir pruebas concretas de las consecuencias por consumir los resultados de la modificación hormonal, en conjunto con la utilización de pesticidas, no elimina la incertidumbre de adquirir alguna enfermedad por consumir dichos insumos.

A continuación, la Tabla 1 muestra la producción de leche en toneladas métricas de los quince países con mayores volúmenes de obtención del insumo. La muestra para comparación inicia en el año 2015 y finaliza en el 2019.

Tabla 1.
Producción diaria de leche en toneladas métricas por países

País	2015	2016	2017	2018	2019
India	147000	154000	160000	167000	174000
Unión Europea	154550	155550	158000	159450	160860
Estados Unidos	94618	96345	97734	98792	100063
China	33298	32240	31886	31250	31100
Rusia	30548	30510	30934	31450	31875
Brasil	25650	25857	26766	25662	26210
Nueva Zelanda	21587	21224	21510	22155	22200
México	11900	12122	12288	12449	12549
Ucrania	10864	10625	10520	10300	10120
Argentina	11552	10191	10090	10837	11380
Canadá	8773	9081	9675	9940	10115
Australia	10091	9486	9462	9440	9300
Bielorrusia	7074	7170	7350	7380	7380
Japón	7379	7394	7281	7230	7275
Korea del Sur	2169	2070	2081	2045	2030
Total en países elegidos	577053	583865	595577	605380	616547

Nota: adaptada de comisión Europea (2020, p. 5).

Ahora, en el Perú, gracias a un estudio sobre la calidad fisicoquímica en la región Puno se ha demostrado resultados alarmantes en el análisis de concentración de agentes tóxicos en la leche ofertada por siete cuencas representativas en el departamento regional de Puno, entre estas Ilave, Acora, Mañazo, Vilque, Cabanillas, Azángaro y Ayaviri (Brousett-Minaya, Torres, Chambi, Mamani, & Gutiérrez, 2015). A pesar de que el resultado respecto a agentes tóxicos no es del todo negativo, los índices de acidez en los resultados de medición del pH fueron preocupantes. Entonces, un resultado apoya la competitividad en la calidad de la leche ofertada en la región, mientras el otro solo muestra un volumen vasto de insumo dirigido al desecho del mismo. Ante esto, el gobierno regional viene impulsando el programa PRADERA en conjunto con el proyecto TecnoLeche cuyo objetivo es integrar la tecnificación en los procesos de producción, transporte y acopio de leche y sus derivados a través de la adopción de tecnologías adaptadas a la realidad de la región.

En la Figura 1 está el logotipo del programa PRADERA, programa de apoyo al desarrollo rural andino de la provincia de Puno.



Figura 1. Logotipo del programa PRADERA
Fuente: (Proyecto PRADERA, 2019)

Por otro lado, cabe mencionar que el departamento regional de Puno, no solo es representativo en la integración eficaz de programas en favor de la integración de nuevas tecnologías, sino también lo es en la producción anual de leche ofertada por departamento. Esta provincia se ubica entre los primeros puestos en volumen de producción de leche por departamento, el cual junto a Cajamarca, Cusco y Puno llega a una tasa de crecimiento anual de 40% (MINAGRI, 2020). Del mismo modo, sus procesos referentes a sus derivados son considerados ecológicos por la baja presencia de pesticidas y fertilizantes asociados a la producción de leche, así como el de presentar una integración semi-manual de normalización y estándares de calidad dirigidos al control y medición de factores intrínsecos de la leche acopiada. En conclusión, Puno representa un sector importante en la producción de la leche a nivel nacional, un campo de oportunidad para la introducción de nuevas técnicas de producción y un modelo a seguir para la integración de control de normalización y estándares de calidad en la región peruana.

No obstante, a pesar de existir indicios de crecimiento y adopción de nuevas tecnologías en una cuenca importante de la región peruana, esta iniciativa no logra acercarse a la meta establecida por las demás potencias en producción de leche anual, ni a la aplicación de métodos de monitoreo más avanzados, tal como lo es la aplicación de la IoT (Internet of Things) en el control y manipulación de los insumos ofertados. ALPINA, multinacional colombiana de lácteos y productora de alimentos, es uno de los mejores representantes en la implementación tecnológica basada en el monitoreo para rastrear, coordinar y manipular el estándar de calidad en los procesos críticos de su desarrollo productivo. Esta empresa, mantiene un monitoreo tecnificado gracias a la implementación de Inteligencia de Datos y uso avanzado de nubes virtuales para el almacenamiento de información de sus flujos internos. Caso contrario a lo que sucede en la región departamental de Puno, y, en general, en toda la industria peruana.

Si bien Puno es una región representativa del avance, esta no se encuentra ni cerca de su óptimo productivo. Para dar cuenta de esto, se debe prestar atención al volumen anual producido por nuestro país en los últimos años y a lo rezagado que se encuentra la industria peruana en el ranking de competitividad global. El Perú, tan solo en el año 2018, produjo cerca de 2.7 millones de toneladas métricas de leche (Gestión, 2018). Este número, aunque va aumentando con el paso de los años, todavía da un estimado muy pequeño respecto a los países de primer nivel. Asimismo, el equívoco se encuentra asociado a un problema de atraso tecnológico y falta de visión en el progreso digital en nuestro país. Un estudio reciente acerca del progreso tecnológico realizado por la Institute for Management Development (IMD) revela que el Perú se encuentra en el puesto 60 de los 63 países estudiados, tan solo tres puestos delante de Mongolia, Indonesia y Venezuela (IMD, 2019). Igualmente, la falta de inversión en la investigación y desarrollo (I+D), ya sea por culpa de la búsqueda de beneficios privados y estatales, en favor de la maximización de beneficios individuales y no colectivos, se ve

reflejado en el 0.08% invertido del PBI en I+D en la última década y también en la nula intención estatal por llegar al óptimo, 0.8% del PBI (Almeida, 2019), tal como puede observarse en la Figura 2.

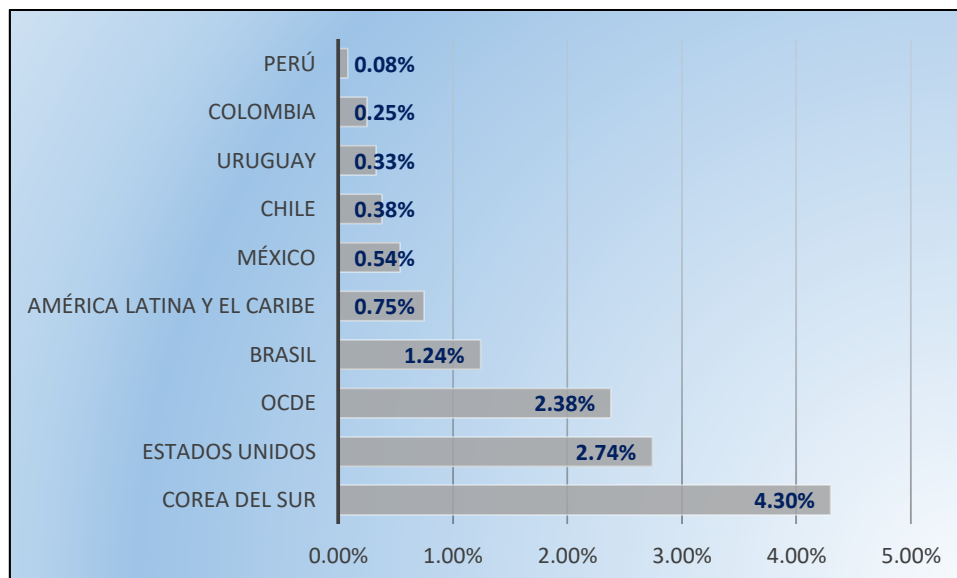


Figura 2. Gastos en I+D como porcentaje del PBI
Fuente: (Almeida, 2019)

Entonces, aun cuando existan ciertas iniciativas internas para eliminar la incertidumbre de la era digital, estas nunca lograrán cumplir sus metas si es que no se aplica un planeamiento general hacia el avance tecnológico digital de la industria peruana. Por ende, la problemática de la industria lechera reside en la poca cantidad medida en millones de leche que se produce anualmente a comparación de otras potencias extranjeras, la inversión nula en proyectos de digitalización por parte del estado y empresas privadas y, por último, la visión nula para la implantación de monitoreo de procesos centrados en el IoT (Internet of Things).

1.2 Importancia y justificación del proyecto

Ahora, la integración de un sistema de monitoreo digitalizado de los estándares de calidad de la leche ofertada que pueda controlar, medir y manipular los factores intrínsecos del insumo ofertado posee una relación directa con el uso y desperdicio del mismo. Un error en la manipulación del insumo, una incorrecta metodología, un desbalance en la acidez resultado de

la medición de pH, solo termina con el desecho total de la leche acopiada (ver Figura 3). Encima, en el caso de Perú, país donde solo se llega a 2.7 millones de toneladas métricas por año, una cantidad muy baja a comparación de las demás potencias, en donde se dé la situación aberrante del desperdicio de un insumo que podría ser destinado al consumo general es un pecado económico que no puede ser ignorado. Por lo tanto, en este proyecto integrador se propone mediante la introducción de un sistema de monitoreo que aplica redes LPWAN (Low Power Wide Area Network), la digitalización de los datos intrínsecos de la leche en la zona alto andina y, por ende, la optimización del control de estándares de calidad para prevenir el desecho de un insumo importante.

Por otro lado, la aplicación de estas redes se traduce en trabajo de gran extensión a muy bajo costo energético. Estas redes poseen un requerimiento de energía menor a comparación de otras redes en la actualidad, poseen protocolos de libre acceso y una amplia flexibilidad para la emisión y recepción de redes de trabajo. Ejemplo de este tipo de redes son la red LoRaWAN, SigFox, Narrowband IoT, entre las más importantes. Aunque, la desventaja más notable se refleja en la poca capacidad que poseen para transmitir grandes cantidades de datos, esta queda de lado al poder aplicarse a muy largas distancias y poseer una gran inmunidad a incertidumbres ambientales, caso contrario a las redes tradicionales. Esto último, es uno de los aspectos más importantes para la realización de este proyecto, debido a que al proponer esta idea se planea aplicarla en el entorno alto andino donde las incertidumbres ambientales componen los principales antagonistas en toda red de radiofrecuencia.

Por último, en caso de indiferencia a la integración de este tipo de red, se estaría evadiendo una alternativa de desarrollo para la comunicación a grandes distancias adaptable a diferentes ambientes y a bajo costo. Las redes LPWAN se convierten en una clave para la expansión industrial para el monitoreo digital de un insumo importante, permitiendo la configuración de dispositivos destinados para el control inteligente de distintos servicios. En pocas palabras:

fácil acceso, bajo costo y gran alcance de radiofrecuencia para el control y medición de procesos.

A continuación, la Figura 3 resume las principales causas de alteración en las propiedades del insumo que pueden generarse durante la manipulación por malas prácticas y presencia de factores externos.



Figura 3. Diagrama de Ishikawa
Fuente: Autoría propia.

1.3 Delimitación del proyecto

El proyecto, en total, entregará un informe detallado con datos conceptuales relacionados a la tecnología del espectro de radiofrecuencia; el desarrollo de la solución con la aplicación práctica de las redes LPWAN a través de la tecnología LoRa; un nodo y un prototipo de comunicación con sensores para la captura de valores de pH, temperatura y localización; una evaluación de costos para elevarlo como proyecto de emprendimiento y; por último, el resumen de los resultados obtenidos durante las pruebas.

También como anexo se encontrarán las hojas de trabajo (Datasheet) de cada elemento utilizado en la configuración de la red LPWAN; así como las direcciones web de videos grabados a lo largo del proceso de construcción del prototipo.

A continuación, se describirá las tareas necesarias para generar este proyecto. En total, tres labores principales:

- ❖ Preparación del dispositivo: se necesitó datos básicos para la construcción del prototipo, entre estos, el voltaje mínimo necesario, la frecuencia y datos predefinidos por el fabricante. Luego, se procedió a configurar el dispositivo. Primero, se inició con la configuración de los parámetros básicos y se terminó con la conexión de este a Internet.
- ❖ Prueba con MQTT IoT Server: este último fue el escogido para desarrollar el sistema de monitoreo. Este consistió en configurar el Gateway para la conexión con la plataforma MQTT. Esta última se enlazó con la plataforma ThingSpeak de donde se pudieron extraer los códigos de la aplicación para lectura y escritura y parametrización en la interfaz administradora del Gateway.
- ❖ Evaluación y testeó en campo: con el equipo instalado y ya establecida la comunicación se procedió a realizar distintas pruebas para validar el funcionamiento de este prototipo. En estas los valores medidos fueron: la geolocalización, la temperatura y el pH del insumo, en este caso, la leche.

1.3.1 Materiales utilizados

A grandes rasgos, se debe enunciar que cada monta carga utilizada en el transporte de leche debe contar con siete elementos fundamentales, pero no restrictivos en el proceso de optimización: sensor DS18B20, pHmetro, Arduino UNO, antena (433 MHz), módulo RF98, módulo GPS u-blox NEO-6M, LoRa Gateway (433 MHz). Además, de los elementos activos durante la tarea operativa: Interfaz de usuario, alarma de rastreo y un contenedor virtual para el seguimiento de dos montacargas.

Por último, el factor más restrictivo a tener en cuenta es la cobertura de la red de Internet, ya que al ser una comunidad alto andina se carece en ciertos puntos de una cobertura

prolongada. Ahora, para minimizar la incertidumbre se integra redes LPWAN y equipos bajo la marca LoRa.

La Tabla 2 expone los componentes empleados en el sistema de monitoreo. En total son siete dispositivos que permiten la medición de factores intrínsecos del insumo.

Tabla 2.
Lista de componentes por nodo.

Cantidad	Nombre	Descripción
1u	Arduino UNO	Placa de microcontrolador de código abierto, microchip Atmel.
1u	GPS NEO 6M U-BLOX	Conlleva un EEPROM y antena.
1u	Display 16x2	Pantalla de cristal líquido para visualización de contenidos o información.
1u	Sensor de pH	Señal indicadora de pH, alimentación de 5V.
1u	LoRa Shield	Transceptor de largo alcance, permite envío de bajas tasas de información.
1u	DS18B20 sonda de temperatura	Mediciones de temperatura en ambientes húmedos y mojados, a prueba de agua.
1u	LoRa Gateway LG01-N	Sistema de código abierto permite conexión inalámbrica de nodos hacia internet

Nota: Autoría propia

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar, implementar y ejecutar sistemas de monitoreo de estándares de calidad aplicando redes LPWAN al traslado de leche en comunidades alto andinas.

1.4.2 Objetivos específicos

- ❖ Diseñar un sistema de envío y recepción de datos por medio de radiofrecuencia a través del protocolo libre LoRaWan.
- ❖ Monitorear las variables de temperatura, pH y localización del contenido de leche durante su traslado a través del módulo LoRa Ra-02.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Aseguramiento de la inocuidad en la leche y sus derivados lácteos

La leche y sus demás productos derivados son fuentes abundantes de nutrientes que fortalecen el desarrollo del organismo. Su considerable volumen de producción y consumo la posiciona en el comercio internacional como un producto altamente demandado. A causa de ello, para evitar afectar la salud del consumidor y facilitar su comercialización existen protocolos junto con códigos de buenas prácticas que garantizan su idoneidad e inocuidad. El más importante código alimentario a nivel mundial es el Codex Alimentarius, cuyo segmento de Prácticas de Higiene para la Leche y Productos Lácteos brinda orientación sobre las medidas adecuadas y control de higiene de la leche y sus derivados en toda la cadena alimentaria para garantizar su inalterabilidad en los usos a los que se le destine. (FAO & OMS, 2005).

El Perú, a través del MINAGRI (Ministerio de Agricultura) junto con las autoridades nacionales DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental) y SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria), establece, ejecuta y supervisa políticas nacionales y sectoriales para el desarrollo sostenible y comercial de este recurso, con la finalidad de asegurar la calidad en los diferentes productos lácteos destinados al consumo humano (MINSA, 2017).

En la Figura 4 pueden apreciarse las principales causas del desperdicio de la leche gracias a la intervención de factores externos.

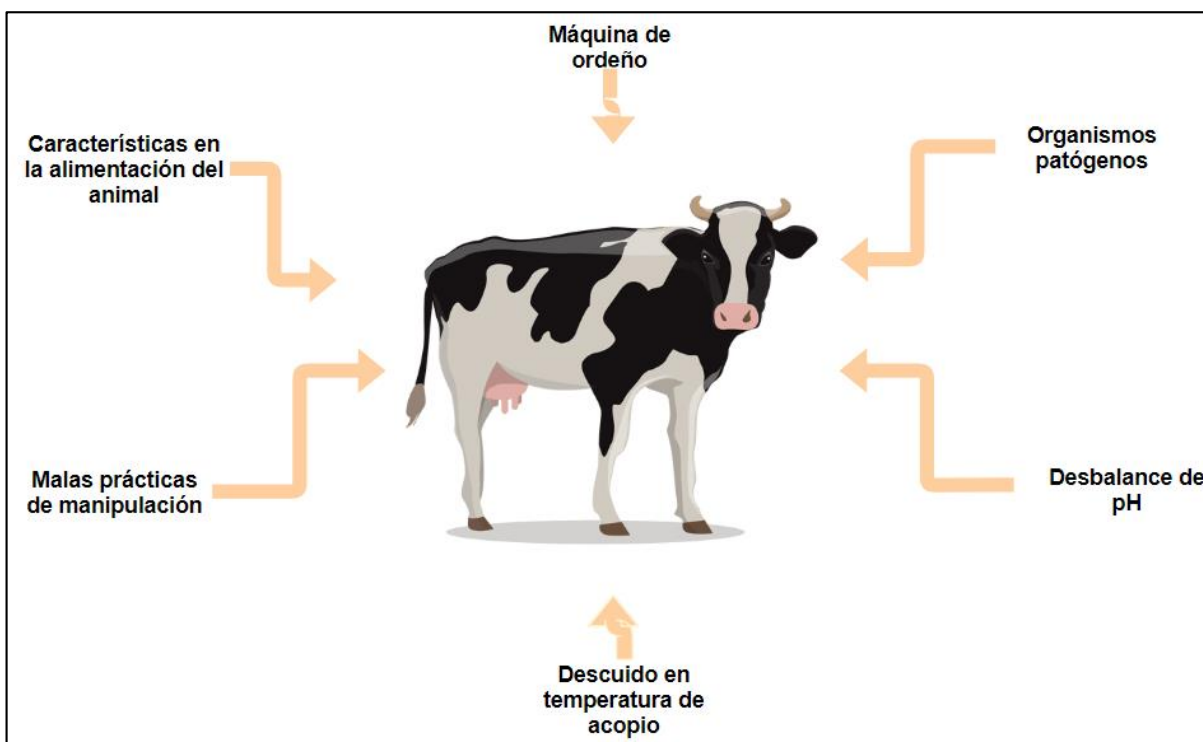


Figura 4. Causas del desecho de leche

Fuente: Autoría propia

2.1.1 Calidad en la leche

Existe la posibilidad de transmisión de enfermedades en todos los alimentos a ser ingeridos por el hombre y la leche no es ajena a esta regla. Los animales que la producen pueden llegar a ser portadores de agentes dañinos que ponen en riesgo la salud de los seres humanos. Así también, las diferentes actividades como ordeño, mezcla de contenidos y el almacenamiento presentan el riesgo de contaminarse por contacto directo con el operario o el medio, lo que conduce a la proliferación de patógenos. Frente a esto, es imperante evaluar su calidad por medio de las siguientes características reunidas (MINAGRI, sf):

- ❖ Apropiaada cantidad de componentes sólidos (grasa, lactosa, proteínas y minerales).
- ❖ Mínima presencia de carga microbiana (psicrófilos, mesófilos, termófilos)
- ❖ Ausencia de bacterias proliferadoras de enfermedades (brucelosis, mastitis, tuberculosis).
- ❖ Nula presencia de residuos químicos o inhibidores (cloro, agua oxigenada, iodóforos).
- ❖ Reducida cantidad de células somáticas.

Durante una entrevista sobre los factores que afectan la producción de leche Magda Triana, especialista de procesamiento de lácteos, explicó que si bien el productor es quién impera en la vulneración también lo es en un grado inmediato quién lo transporta (Triana, 2019). Por ello, se deberá abstener de alterar la leche con cualquier sustancia y/o manipularla en malas condiciones que cambien sus características inherentes.

En la Figura 5 nuevamente se aprecia los agentes externos que intervienen en la alteración de la leche. Esta vez desde una perspectiva más focalizada en los patógenos y utensilios.

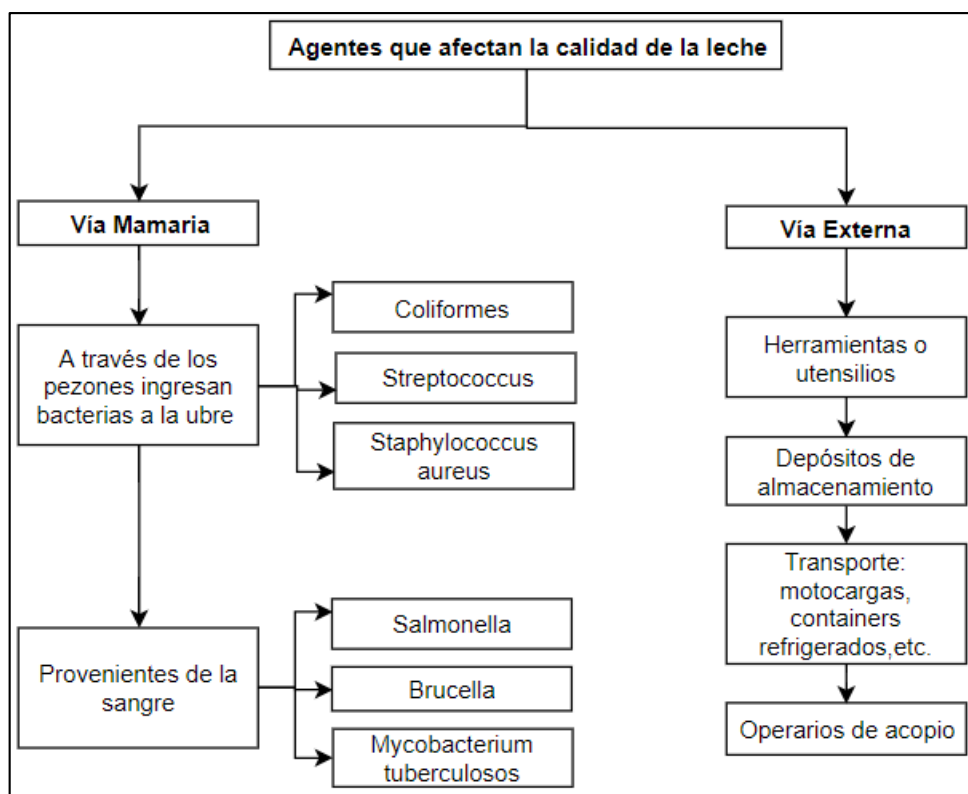


Figura 5. Vías y microorganismos que afectan la calidad de la leche
Fuente: (Moreno, Rodríguez, Méndez, Osuna, & Vargas, 2007)

2.1.1.1 Factor de calidad composicional

La leche concentra un 12% en contenidos de grasa, butirosa, proteína, lactosa y minerales mientras que el resto de 88% es agua. Si existiera exceso de agua, bien sea involuntaria o intencional, se detectaría por dos clases de mediciones:

- ❖ Densidad: variación normal entre 1028 a 1035 gr/litros, factor inversamente proporcional a la cantidad de agua.
- ❖ Descenso crioscópico: su valor normal fluctúa entre -0.558°C y -0.500°C , factor directamente proporcional a la cantidad de agua aproximándose a 0°C .

Además de estas mediciones existen otros factores incidentes sobre la calidad composicional de la leche. Esto se resume en la Tabla 3 por medio de la descripción de los factores incidentes.

Tabla 3.
Factores que inciden sobre la calidad composicional

Factores incidentes	Descripción	Causas
Grasa Butirosa	Componente con mayor variación.	Nivel de producción, momento de lactancia, alimentación, eficiencia en el ordeño, sanidad de la ubre y genética.
Lactosa	Depende de la cantidad sintetizada en la glándula mamaria.	Alimentación, relacionada con los aportes en dieta y salud de la ubre, mastitis.
Proteínas	Caseína presente entre el 70% y el 75% de las proteínas totales de la leche.	Alimentación, genética y sanidad de la ubre, la mastitis modifica calidad.

Nota: (MINAGRI, sf)

2.1.1.2 Factor de calidad higiénico – sanitaria

Mientras que la calidad higiénica hace referencia a las prácticas de manejo en corral como la delicada manipulación durante su recolección. La calidad sanitaria busca prevenir a través de medidas fitosanitarias para asegurar la sanidad, inalterabilidad y calidad del insumo obtenido (Moreno, Rodriguez, Méndez, Osuna, & Vargas, 2007).

La Tabla 4 muestra un resumen de los indicadores inmersos en lo referente a higiene y sanidad. La alteración de los factores promueve la producción de microorganismos que alteran la composición de la leche.

Tabla 4.
Calidad Higiénico- Sanitaria

Factores incidentes	Descripción	Causas
Calidad higiénica	Se debe combatir su degradación por medio de la acidez deberá oscilar entre 14 a 17 grados Dornic durante la prueba de alcohol.	Microbios a partir del ordeño, por medio del agua de lavado y durante el almacenamiento
Carga bacteriana	Pondera la presencia de bacterias coliformes. El enfriado de la leche ayuda a mantener la calidad higiénica.	Microorganismos creados en las glándulas mamarias, provenientes del corral, almacenamiento y rutina de lavado.
Inhibidores antibióticos	y Sustancia ajena al proceso que frena el desarrollo bacteriano, produciendo perjuicios en la industria al no permitir la evolución de fermentos.	Tratamientos intramamarios, inyectables o vía oral, presencia en desinfectantes y detergentes.

Nota: (MINAGRI, sf)

2.1.2 Acciones para evitar y/o separar contaminantes

A través de la higienización, que es el grupo de acciones que tienden a separar los aportes contaminantes presentes en la leche, se consigue aumentar la calidad del recurso mediante la eliminación de patógenos y la evasión de condiciones que favorezcan su reproducción.

A adición, la Tabla 5 explica la forma de cómo controlar o evitar los tres principales agentes contaminantes ya explicados en los puntos anteriores. La tabla ordena de menor a mayor grado de dificultad para mitigar el agente contaminante.

Tabla 5.
Principales agentes contaminantes

Principales agentes contaminantes	Sus orígenes	Reacciones para su control
Físicos	Ausencia de cuidado en el lugar de ordeño y/o transporte de la leche.	Mejorar las condiciones para extracción y transporte de leche.
Microbiológicos	Ausencia de prácticas de higiene y sanidad en el lugar de extracción de leche, ganado vacuno enfermo.	Enfriamiento de la leche, control de sanidad en el ganado.
Químicos	Tratamiento de enfermedades, inadecuado lavado y enjuague de la máquina para ordeño, adulteración del insumo.	Evitar su adulteración y usos de herbicidas, no extraer leche de vacas tratadas.

Nota: (MINAGRI, sf)

En la revista Food News se desarrolló un artículo sobre las principales fuentes de contaminación en la leche cruda, de este se extrae su último pasaje sobre la ejecución de programas sanitarios preventivos para el rebaño, propone que de realizarse aumentaría la productividad y si fuera el caso de evitar ordeñar animales enfermos se impulsaría en incrementar la calidad (Castillo & Álvarez, 2016).

2.1.3 Procedimiento en la producción de leche

Con el objetivo de garantizar la inocuidad de la leche se debe aplicar un conjunto de buenas prácticas durante su extracción. También, es necesario validar medidas de control en el establecimiento para evitar posibles peligros que alteren las cualidades inherentes del recurso.

2.1.3.1 Adecuación de zonas para producción de leche

La ubicación, el diseño y mantenimiento de las áreas de extracción deben evitar la generación de peligros. El descuido en el cuidado del local que aloja las prácticas de ordeño puede llegar a ser un factor que incentive la contaminación del contenido producido.

❖ Construcción de pisos que favorezcan el drenaje y permitan la remoción de desechos.

- ❖ Adecuada ventilación con buena iluminación.
- ❖ Buena calidad en agua destinada para limpieza de ubres y demás equipo de ordeño.
- ❖ Eficaz distancia entre equipos de extracción con fuentes de contaminación.

2.1.3.2 *La sanidad del ganado*

La leche debe provenir de animales con buen estado de salud por ello, es importante evadir enfermedades zoonóticas entre el ganado y que se transmitan a la leche. De serlo el producto, sería ni inocuo ni idóneo para el consumo humano conduciendo a su desecho.

- ❖ Animales con síntomas de enfermedad deben ser separados de sus grupos de ordeños.
- ❖ La limpieza diaria en animales.
- ❖ Evitar dañar las tetillas, ubre y abdomen del animal.

2.1.4 Procedimiento en el almacenamiento y transporte de la leche

El control del tiempo y la temperatura se convierten en factores determinantes para asegurar las buenas prácticas de transporte y almacenamiento del contenido de la leche. Estos favorecen en la no proliferación de microorganismos evitando su rápida reproducción. Para asegurarlos se necesita validar ciertas características funcionales determinadas por FAO (Organismo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) a través del Codex Alimentarius en la manipulación de la leche.

2.1.4.1 *Equipos destinados para el almacenamiento de leche*

Todo equipo destinado para almacenar leche deberá garantizar un drenaje completo y a su vez estar contruidos con normas técnicas con el fin de asegurar su correcto funcionamiento. También este deberá garantizar su fácil limpieza y desinfección junto con resistencia a la corrosión.

2.1.4.2 *Buenos procedimientos de recolección, transporte y distribución*

Es imperante normar la cadena de transporte de leche para así asegurar el prevalecimiento de las cualidades originales del producto junto con su calidad. Para ello el Codex Alimentarius determinó las siguientes pautas:

- ❖ Acceso del personal de recolección junto con sus vehículos a plataformas de despacho libres de estiércol.
- ❖ Inspección por parte del operador de recolección/refrigeración del buen estado del contenido.
- ❖ Hermeticidad de los vehículos portadores de leche para evitar su contaminación con agentes externos.
- ❖ Aseguramiento de la temperatura de almacenamiento y entrada antes y durante su recogida.
- ❖ Adecuada capacitación para la manipulación de leche.
- ❖ Desempeño de trabajo de forma higiénica por parte del transportador antes y durante el traslado.

2.1.4.3 *Disposiciones adicionales en el transporte de leche*

Los microorganismos se reproducen en condiciones favorables como temperaturas óptimas, presencia de oxígeno, grado de acidez del medio, presencia abundante de nutrientes. A causa de ello, con el fin de evitar la descomposición o alteración de características en el insumo que conduzcan a su total desecho se ambienta pequeños espacios de almacenamiento para su inalterabilidad. En estos impera la graduación de temperatura y la inalterabilidad del pH:

- ❖ Establecer una temperatura dentro del rango de 4 a 6°C (FAO & OMS, 2005).
- ❖ Mantener pH entre el rango de 6,5 y 6,8 (Negri, 2005).

Con esos indicadores de temperatura se evitará posibles peligros microbiológicos.

2.1.5 Puntos clave referentes a la calidad en la leche

La calidad de la leche procesada y de sus derivados lácteos dependerá de la calidad del recurso original, que se verá afectado por condiciones externas tales como la cualidad física del animal, las características sanitarias del ambiente destinado a la extracción, condiciones del transporte y adecuadas locaciones de almacenaje (Universidad del Zulia, 2003).

La Tabla 6 expone los impactos generados a nivel físico, químico, nutricional y sensorial por la alteración de las cualidades de la leche.

Tabla 6.
Principales cambios en la leche

Principales cambios	Efectos	Descripción
Físico	Cambio en viscosidad	Parámetro esencial en la industrial de la leche, considerado requisito de aceptación o rechazo de parte del cliente.
Químico	Aumento de acidez	Capacidad buffer alterada en el contenido de leche, expulsión de CO ₂ .
Nutricional	Desnaturalización de proteínas y reducción de vitaminas	Posible presencia de agentes patógenos.
Sensorial	Reacción de azúcares reductores en la leche	Color parduzco generado por el oscilamiento enzimático

Nota: (MINAGRI, sf)

2.2 Tecnología de monitoreo

2.2.1 Industria 4.0

Los cambios tecnológicos comenzaron en el siglo XVIII con el mecanizado en la producción, años más tarde la producción en serie conllevó a la distribución de trabajo y durante la década de los 60 y 70 la computadora comenzó a tener participación. Todas estas son consideradas revoluciones industriales porque los cambios tecnológicos forzaron a

producir bienes de forma distinta, a dar un giro en la forma de vida y plantear nuevas distribuciones de trabajo.

Si bien en la tercera revolución industrial se utilizó gran cantidad de datos y también se aplicó la automatización, aún no se interconectaban los equipos y tampoco existía la posibilidad de acceder a la información obtenida a través de internet de forma remota. Con el concepto de conectividad junto con interconexión se da origen a la 4.0 que se considera la cuarta revolución industrial donde las maquinas se interconectan entre ellas por medio de una red y sus datos van intercambiando a través de una salida con la nube o servidor para su posterior acceso remoto a través de Internet.

La palabra clave es la interconectividad y se avizora que para el 2020 alrededor de 30 mil millones de dispositivos contarán con conexión a internet. Ello permitirá obtener enormes cantidades de datos en tiempo real sin límite de espacio ya que estos irán compartiéndose de equipo en equipo a través de aplicativos que monitoreen y los envíen hacia servidores (Panaggio, s.f.).

Una fábrica que utiliza los datos recolectados por fuentes externas (tendencias de consumo, tema de marketing, etc.) e internas (producción, horas hombre, materia prima, consumo de corriente) tendrá mayor presencia en el mercado y sus productos aumentarán su demanda. Por consiguiente, las empresas deberán cambiar su forma de producir desde lotes hasta un solo producto acorde a la necesidad del cliente quién tiene el poder de decisión.

Del mismo modo, la Tabla 7 resume las cuatro características más resaltantes de la Industria 4.0, estas requieren de equipos inteligentes para el continuo flujo y control de información. Ello permitirá ahorro de tiempo, aumento en los niveles de producción, disminución en consumo de recursos, oportuna respuesta a las necesidades del cliente y un desarrollo eco-sostenible.

Tabla 7.
Bondades de la industria 4.0

Los más destacable	Ventajas
Automatización	Disminución de tiempos en producción
Conectividad	Aumento en el nivel de eficiencia
Información digital	Acertada respuesta a la demanda del mercado
Acceso digital al cliente	Mejor uso de recursos conlleva a proteger el medio ambiente

Nota: Autoría propia

2.2.2 IoT (Internet de las cosas)

El Internet es una herramienta necesaria en la vida diaria y desde su creación no ha parado de incrementar la cifra de dispositivos conectados a su red. Con la conexión de banda ancha se facilita el acceso y aumenta la velocidad de navegación lo cual favorece en aprovechar sus ventajas. Tan común y necesario es su uso que se extraña el querer evitarla.

Con la alternativa de conexión inalámbrica y el bajo costo de los equipos electrónicos han permitido integrar objetos de uso frecuente para el envío y recepción de datos. Es decir, gracias al IoT (Internet of Things) los equipos pueden ejecutar nuevas tareas como tener control sobre otros aparatos inteligentes de manera remota y recepcionar alertas como actualizaciones de software. Es posible que casi todo equipo adaptado con una conexión estable a la red pueda comunicar datos en tiempo real con ausencia del ser humano. De esta forma se fusionaría el mundo físico con el digital (Peña, 2019).

Un detalle a ser aclarado son las similitudes y diferencias entre el IoT y la IIoT (Industria 4.0). De cuatro criterios de comparación, tres son características acentuadas y afines en ambas tecnologías que permiten la comunicación de dispositivos en diferentes entornos, las cuales son: interconectividad, variedad en soluciones simples y capacidad regulable de almacenamiento. Por otro lado, el criterio de comunicación con el exterior requiere equipos

para la medición de magnitudes y sus costos de adquisición variarán según la complejidad del proceso siendo mucho más elevado para la industria 4.0.

La Tabla 8 especifica tanto similitudes como las diferencias entre el IoT (Internet of Things) y la IIoT (Industrial Internet of Things).

Tabla 8.
Comparación entre IoT y 4.0

	Comunicación con el mundo físico	Transmisión de datos	Medios de integración	Uso de datos
Internet de las cosas (IoT)		Conectividad, amplia comunicación, diversidad de protocolos con características definidas, seguridad en la información compartida, capacidad para diferentes tamaños de mensajes, diferentes medios físico, etc.	Casos sencillo como plataformas web móviles o aplicativos, hasta aplicaciones complejas con árboles de jerarquías	Individuo, como usuario directo conectando aplicaciones simples
Internet Industrial de las cosas (IIoT, Industria 4.0)	Variedad de precios y modelos en sensores			Datos masivos, modelos analíticos, aplicaciones de monitoreo y control, etc.

Nota: Autoría propia

2.2.2.1 Redes LPWAN

Las redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) son de amplia área y de bajo consumo en potencia, su conexión es inalámbrica y favorecen al mundo del IoT. Son tecnologías superiores en alcance al Bluetooth y el BLE (bluetooth de baja potencia) pero de bajo ancho de banda. Así también, se usan para proveer conexión en aplicaciones M2M por su efectividad en costo y bajo consumo. Este tipo de tecnología es ideal para transmitir pequeñas cantidades de datos en largas distancias con un consumo bajo en batería.

Las siguientes características, propias de esta tecnología, favorecen la masificación del IoT:

- ❖ Las redes LPWAN proporcionan un bajo consumo de energía. Operan usualmente con baterías pequeñas y baratas (7 – 10 años de duración).
- ❖ Wide-Area: el rango de operación es superior a los 2 km en entornos urbanos.
- ❖ Poseen una transmisión de 1 000 bytes por día o 5 000 bits/s.
- ❖ Su mayor uso se encuentra dirigido al control y monitoreo a largo plazo mediante el uso de sensores y medidores especializados.

En la Figura 6 puede apreciarse la comparación entre cantidad de datos y rango de alcance de las tecnologías inalámbricas. Las de menor rango son encerradas en azul y presentan reducidas tasas de envío de data. Mientras que, las de mayor alcance se encierran en amarillo.

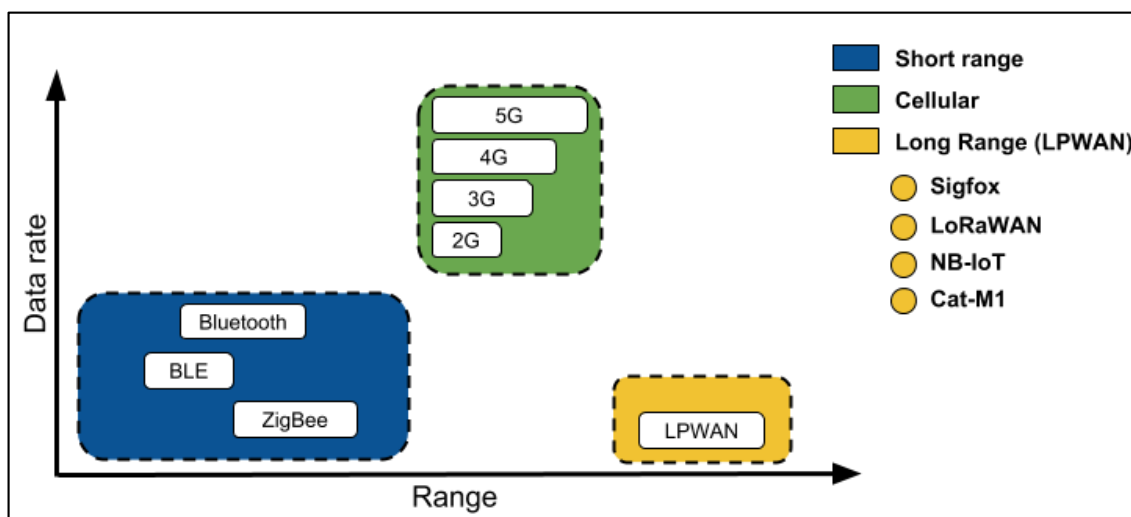


Figura 6. Comparación entre cantidad de datos y rango de las tecnologías inalámbricas
Fuente: (NXIoT, s.f.)

2.2.3 Comparación entre redes LPWAN

Existe en el mercado diferentes alternativas tecnológicas de solución para monitorear el traslado de la leche a distancia. Las características más resaltantes que las diferencian son sus costos de inversión, los gastos generados durante la operatividad, la dependencia de estos a medios de conexión continua y el mercado de repuestos. En consecuencia, para escoger la

opción más adecuada a la necesidad presente se necesitó evaluar información relevante de cada producto o servicio que podía superar la problemática. Esta información se detallará en las siguientes líneas.

2.2.3.1 Weightless – W

Weightless es una tecnología de conectividad inalámbrica para redes de área amplia y baja potencia. Su funcionamiento lo desarrolla por debajo de 1GHz de frecuencia. Dentro de sus actividades se encuentra desarrollar soluciones de IoT con tecnología LPWAN, innovación continua, certificación y licencias de tecnología actualizadas. Al ser diseñada especialmente para IoT presenta características de larga duración de batería, diversidad de módulos con alta eficiencia para aplicaciones profesionales, supera soluciones GPRS, 3G y Acceso Múltiple por Código de división (CDMA). Su comunicación de datos es de pocos bits con una velocidad de 100 kbps (Aguilar, 2019).

Weightless - W es un estándar abierto es decir lo referente a propiedad intelectual de su tecnología no requiere un pago de regalías para su uso. Sin embargo, es necesario pagar para darle funcionamiento, el costo para desarrollador con membresía es 1295 dólares americanos. El gasto requerido para hacer uso de esta tecnología LPWAN asegura su soporte durante toda la cobertura (Weightless, s.f.).

En la Figura 7 puede apreciarse el ícono de Weightless



Figura 7. Ícono de Weightless
Fuente: (Weightless, s.f.)

2.2.3.2 LTE-M

LTE-M es una tecnología LPWAN para comunicaciones celulares con estrecho ancho de banda para conectar dispositivos no complejos al internet. Con esta tecnología es posible

transmitir pequeñas cantidades de datos en periodos de tiempo largo a un reducido consumo de energía.

Su ancho de banda permite mayores velocidades para transmisión y recepción de datos con una reducida latencia y con mayor precisión de posicionamiento. Este protocolo de comunicaciones es ideal para comunicación máquina con máquina (M2M), además de ser considerado eficiente en el consumo de recursos.

Entre las aplicaciones de bajas velocidades de datos a tiempo real que utilizan esta tecnología se encuentran las ciudades inteligentes para el monitoreo de cambios climáticos, alumbrado público Smart, estacionamientos disponibles, contadores inteligentes de energía, agua o gas, automoción y logística para el rastreo de flotas y rutas (Accent Systems, s.f.)

En la Figura 8 puede apreciarse el logo de LTE-M.



Figura 8. Logo de LTE-M
Fuente: (SIM Point, s.f.)

2.2.3.3 *Narrowband-IoT (NB-IoT)*

Tecnología desarrollada para permitir comunicación eficiente entre dispositivos distribuidos masivamente a bajo consumo de energía. Ideal para dispositivos que no desarrollan un tráfico de información alto y poseen un largo ciclo de vida.

Entre sus características más importantes se pueden enunciar:

- ❖ No necesitan la apertura de Gateway para habilitar la conectividad. Se conectan directamente al centro de telecomunicaciones asentado en el medio (ENTEL, Cisco JASPER).
- ❖ Permite la transferencia de información de hasta 250kbts/s a una latencia de entre 1,6 y 10 segundos.

- ❖ Batería de larga duración: 10 años en promedio.
- ❖ NB-IoT puede coexistir con redes móviles 2G, 3G y 4G.
- ❖ Conectividad a larga distancia, ratificada por 3rd Generation Partnership Project (3GPP).
- ❖ Necesita una inversión relativamente elevada.

En la Figura 9 puede apreciarse el logo de NB-IoT.



Figura 9. Logo de NB-IoT
Fuente: (Accent Systems, s.f.)

2.2.3.4 Sigfox

Es una red IoT de bajo consumo ambientada a amplios despliegues de redes móviles. Aplica el concepto de M2M con su conectividad ampliada para comunicaciones de corta información y baja velocidad.

Entre sus características principales se encuentran:

- ❖ Star Network Architecture (SNA): el dispositivo no se encuentra ligado a una estación específica, a diferencia de los protocolos celulares. El mensaje emitido es recibido por cualquier estación en rango, generalmente son tres estaciones en promedio.
- ❖ Permite la transferencia de 12-bytes de información y posee una latencia promedio de 2 s.
- ❖ Batería de larga duración, debido a la pequeña cantidad de información emitida.
- ❖ SigFox utiliza una modulación Ultra Narrow Band (UNB) de 200 kHz para el envío de mensajes cortos a larga distancia. Muy potente y robusta contra cualquier interferencia o ruido.
- ❖ Necesita inversión relativamente elevada.

En la Figura 10 puede apreciarse el logo de SIGFOX.



Figura 10. Logo de SIGFOX
Fuente: (WND Group, s.f.)

2.2.3.5 LoRa

LoRa (Long Range) es la tecnología de las redes LoRaWAN, un tipo de red LPWAN. Permite el intercambio de pequeñas cantidades de información a baja velocidad y muy bajo consumo energético.

Dentro de sus características resaltan:

- ❖ Necesidad de apertura de Gateway para habilitar la conectividad (apertura global).
- ❖ Alcances en radios de 10, 20 hasta 30 km (largo alcance).
- ❖ Mínimo consumo en batería, durabilidad de 10 años.
- ❖ Elevado rango de tolerancia frente a interferencias. Cifrado relativamente seguro (128 bits de punto a punto)
- ❖ Baja tasa de transferencia en datos (255 bytes)
- ❖ Bajo coste de inversión (30 USD en promedio).
- ❖ LoRa es una red abierta. Cada empresa o entidad puede crear su propia red y explotarla a su beneficio.

En la Figura 11 puede apreciarse el logo de LoRa.



Figura 11. Logo de LoRa
Fuente: (LoRa Alliance, s.f.)

A continuación, la Tabla 9 compara las principales tecnologías LPWAN según los criterios de modulación, variedad de frecuencias, ancho de banda, velocidad en transmisión de datos, promedio de alcance de la señal, operadores proveedores del servicio y su estandarización propia de la tecnología.

Tabla 9.
Comparación de tecnologías LPWAN

Parámetros/ Tecnología	LoRaWan	Sigfox	Weightless- W	NB-IoT	LTE-M
Modulación	CSS	UNB/GFSK/BPSK	DBPSK	OFDMA	OFDMA
Frecuencias	Bandas ISM no licenciadas (915 MHz para U.S, 868 MHz para Europa, 433 MHz para Asia)	Bandas ISM no licenciadas (868 MHz en Europa/ 915 MHz en Norteamérica)	Frecuencias entre canales de TV (espacios en blanco)	Frecuencias LTE licenciadas	Frecuencias LTE licenciadas
Ancho de banda	250 kHz/ 125 kHz	100Hz	5 MHz	200 kHz	20-1.4 MHz
Tasa de datos máxima	EU: 300 bps a 50 kbps US: 900-100kbps	100 bps	10 Mbps	150 kbps	1 Mbps
Alcance promedio (zona urbana)	15 km (rural) 2-5 km (urbano)	30-50 km (rural), 3-10 km (urbano)	5 km	15 km	10 km
Operadores de servicio	Múltiples proveedores de servicios de red gratuito y de pago	Un solo proveedor de servicios de red de pago	En desarrollo	Operadores de telefonía móvil	Operadores de Telefonía móvil
Estandarización	LoRa Alliance	Sigfox en colaboración con ETSI	Weightless SIG	3GPP	3GPP

Nota: Autoría propia

En la Figura 12 puede apreciarse la comparación gráfica de las características comunes entre cuatro tecnologías LPWAN. Todas estas presentan fortalezas y debilidades y la elección como alternativa de solución dependerá de los requerimientos de la problemática.

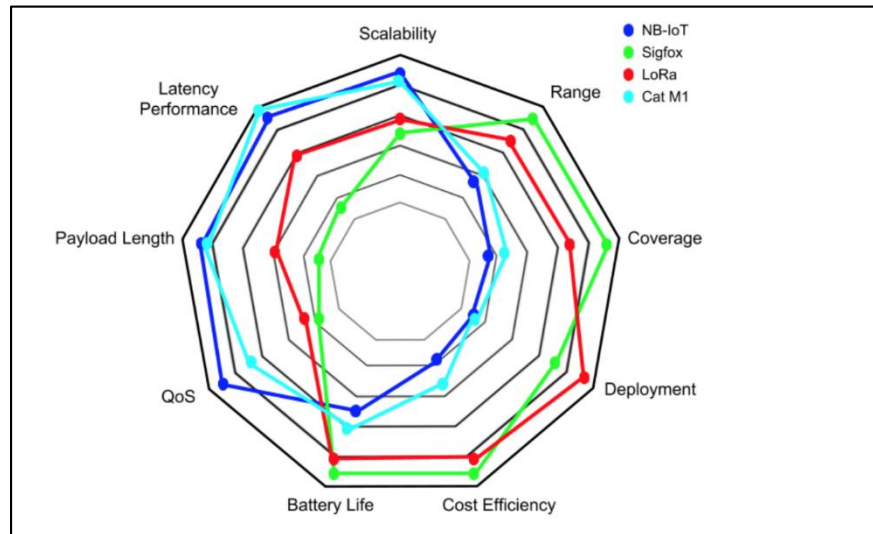


Figura 12. Comparación gráfica de características comunes
Fuente: (NXIoT, s.f.)

2.3 Antecedentes

Existen gran variedad de propuestas que solucionan diferentes problemáticas tanto en el país como en el exterior. Muchas de estas se encuentran activas y su impacto ha superado las expectativas.

2.3.1 Antecedentes nacionales

2.3.1.1 *Piloto de smart city, Municipalidad de San Isidro*

Jorge Guerra de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos junto con la Municipalidad de San Isidro presentó un proyecto piloto para el monitoreo y control de nivel de ruido en ciertas calles del distrito. Para ello, se implementó un sistema de comunicaciones basado en tecnologías LoRa, el cual logró almacenar información a través de un Gateway junto con un servidor público de la Things Network (TTN) (Barrueto, 2018).

2.3.1.2 *Sensorización en generación y distribución eléctrica de Enel*

José Manuel Revuelta, CEO de Enel, viene ingresando al país medidores inteligentes para controlar el consumo de energía en los domicilios de manera remota con su posterior visualización a través de una página web. Con ello da el ingreso a la transformación digital en un espacio público. Más de 10,000 medidores inteligentes han sido instalados en domicilios y, gracias a ello, se ha asegurado la correcta lectura del consumo mensual con una impresión por medio de un recibo digital. (ENEL, 2019)

2.3.1.3 *Ferreycorp crea centro de monitoreo para vehículos Caterpillar*

María García de Fabbri, CEO de Ferreycorp, está convencida que las soluciones digitales son esenciales para ofrecer un mejor servicio al cliente. Junto a su aliado principal Caterpillar han desarrollado un sistema digital para el monitoreo de sensores instalados dentro de las maquinarias pesadas de uso minero. Este sistema consiste en detectar posibles desgastes en indumentaria, controlar los niveles de aceite o hidrolina y medir el envejecimiento del caucho en las ruedas. Luego de encontrarse lecturas fuera del rango esperado se toma acciones de mantenimiento general, siempre y cuando fuese necesario. Gracias a este sistema el cliente evita desembolsar cantidades de dinero en mantenimientos innecesarios ya que ofrece un mayor control de los procesos (UTEC, 2019).

2.3.1.4 *Hayduk presenta flota inteligente*

José Arriola Márquez, CEO de Hayduk Corporación, ha instalado antenas con cobertura satelital en cada embarcación de su propiedad. A través de ellas se logra ampliar la cobertura celular para realizar llamadas y videoconferencias a bordo durante trabajo en altamar. También ante la necesidad de disminuir sus gastos por consumo de combustible, verificar la temperatura y el funcionamiento de las bodegas de frío su aliado en tecnologías digitales (Microsoft) le ha

diseñado un sistema para acopiar, almacenar y trabajar los datos. Con ello, Hayduk se convierte en una empresa con ventaja tecnológica y con herramientas digitales para ahorrar recursos (UTEC, 2019).

2.3.1.5 Carros heladeros “más cerca de ti” Nestlé

La compañía Nestlé Perú a través de su campaña llamada MasCercadeTi se encuentra impulsando proyectos de tecnologías digitales enfocados en el segmento B2C (Business to client). Uno de ellos tiene por objetivo acercar el producto al cliente a través de aplicativos webs que muestren la posición aproximada de carros heladeros, el cliente escogerá el carro más próximo a su ubicación e ingresará información del helado que desea comprar y demás datos de referencia (Sicheri, 2018).

2.3.1.6 Monitoreo de especie “Lama Guanicoe”

Con el objetivo de preservar la especie de camélido sudamericano *Lama Guanicoe* un equipo de investigación del Instituto INICTEL – UNI, financiado por el FONDECYT, desarrolló el proyecto de monitoreo de camélidos en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca. La tecnología usada fue redes LPWAN LoRa la cual obtuvo resultados óptimos en cobertura de alcance (INICTEL, 2019).

En la Figura 13 a dos integrantes del grupo de investigadores del Instituto INICTEL - UNI realizando pruebas alrededor de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca.



Figura 13. Grupo de investigación “Lama Guanicoe”
Fuente: (INICTEL, 2019)

2.3.2 Antecedentes internacionales

2.3.2.1 Alpina, Colombia

José Luis Rodríguez, CEO de WiZENZ, trabajó en un proyecto digital para la principal empresa productora de lácteos en Colombia, ALPINA. Comentó que por medio de plataformas digitales inteligentes se logró optimizar el negocio de producción de leche asegurando la toma estratégica de decisiones. El sistema consistió en el rastreo de flotas a través de sensores y dispositivos GPS para localizar y documentar los volúmenes transportados de productos lácteos. El sistema cubre y asegura óptimas condiciones de transporte, volúmenes diarios vendidos, ubicación de flotas y posibles transvases de productos evitando su descomposición (MARKA MAGAZINE, 2019)

2.3.2.2 Convenio para rastreo entre Oracle y Cisco

Enrique Chang, Director Regional de ventas en Latinoamérica de Oracle (2019), apuesta por un efectivo tracking de bienes a un costo competitivo utilizando las redes de CISCO. Este

tipo de solución promoverá la creación de políticas tecnológicas que favorezcan el Internet de las Cosas (Castro, 2019).

2.3.2.3 *CORFO, Chile*

CORFO es una institución chilena para el fomento de emprendimientos en tecnología. No es ajeno a proyectos sobre IoT y durante el año 2018 impulso conferencias, clases aplicadas y desarrolló de debates entre alumnos y profesionales para difundir y promover el interés por la interconectividad como solución a problemas cotidianos (Fundación país digital, 2018).

2.3.2.4 *CIHOT Fondo Mixto CONACYT – Jalisco, México*

Alfredo Figarola, responsable técnico del CIHOT (2019), se encuentra a cargo de proyectos a implementarse en las áreas de salud, energía y transporte. Los ya culminados son sistemas de monitoreo con ingreso de información por sensores para vigilar el crecimiento de berries, mazorcas de maíz y monitorear la salud del ganado vacuno en la ciudad de Jalisco (El Informador, 2019).

2.3.2.5 *Apicultura a través de la nube con LPWAN, Argentina*

Bruno Fernández de Aracil, fundador del emprendimiento argentino de nombre Bee Honey, consiguió reducir la cantidad innecesaria de visitas a las colmenas y aumentar la producción en cada colonia. Este sistema permite que el apicultor reaccione efectivamente ante posibles eventualidades (Federico Aguer, 2019).

2.3.2.6 Agricultura 4.0 adopción de recursos digitales, Brasil

Brasil se encuentra impulsando su sector agrícola con el uso de sensores, telemetría, drones, BigData, biotecnología y el IoT. El objetivo es monitorear todo el sembrío, a través de la documentación en horas de riego y control de plagas.

En la Figura 14 puede apreciarse la conexión entre objetos del mundo IoT. Esto desde los más sencillos como artículos de vestir hasta los complejos como vehículos de transporte.

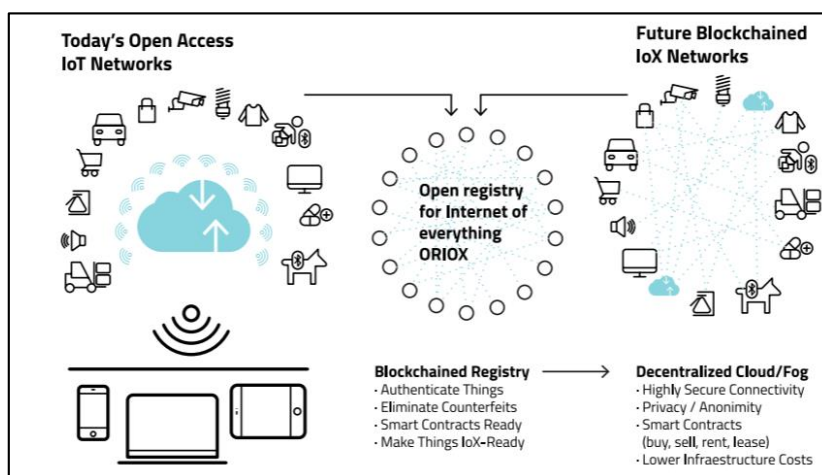


Figura 14. Conexión entre objetos
Fuente: (TTN, s.f.)

2.4 Base teórica de la Radiofrecuencia

La radiofrecuencia u ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética. Este espectro se encuentra entre unos 3 Hz y 300 GHz. Poseen una longitud de onda mayor que la luz observable. Generalmente son usadas intensivamente para las comunicaciones de radio modernas. Estas ondas se transmiten luego de haber ubicado una antena y conecta diversos puntos de acceso en diferentes lugares para optimizar el alcance de la onda de radio. Esta se propaga en línea recta o en forma concéntrica a partir del punto de emisión. En entornos vacíos o sin interferencias estas ondas logran alcanzar los 3108 m/s.

2.4.1 Frecuencia de transmisión en el espectro electromagnético

En el gráfico de frecuencias del espectro electromagnético, presente en la Tabla 10, se visualiza las ubicaciones aproximadas de diferentes servicios. Este se divide en subsecciones o bandas donde reciben un nombre y limitaciones en rangos de frecuencia.

Tabla 10.
Frecuencias de transmisión

Número de banda	Intervalo de frecuencias	Designación
2	30 Hz-300Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 kHz-3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 kHz-30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 kHz- 300 kHz	LF (bajas frecuencias)
6	0.3 MHz- 3 MHz	MF (frecuencias intermedias)
7	3 MHz- 30MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 MHz- 300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	300 MHz- 3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 GHz- 30 GHz	SHF (frecuencias súper altas)
11	30 GHz- 300GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 THz- 3 THz	Luz infrarroja
13	3 THz-30 THz	Luz infrarroja
14	30 THz-300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 PHz- 3 PHz	Luz visible
16	3 PHz-30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 PHz-300 PHz	Rayos X
18	0.3 EHz-3 EHz	Rayos gamma
19	3EHz-30 EHz	Rayos cósmicos

Nota: (Tomasí, 2003)

Si fuera necesario convertir el segmento de frecuencia en longitud de onda se deberá aplicar la siguiente formula:

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{velocidad}}{\text{frecuencia}} \quad ; \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

λ = longitud de onda (metros por ciclo)

$$c = \text{velocidad de la luz } \left(3 \times 10^8 \frac{m}{s}\right)$$

$$f = \text{frecuencia (Hz)}$$

2.4.2 Comportamiento de Radio Frecuencia

Luego, el comportamiento asociado a dicha onda puede estar sujeto a variación si está ligado a dispositivos corruptos. En pocas palabras, la radiofrecuencia suele actuar de forma errática e inconsistente en determinadas circunstancias. Cosas tan pequeñas como cables mal colocados, una mala tensión energética o fallas internas pueden generar una variación en los resultados de la radio frecuencia. Ahora, en el caso de dispositivos tales como LoRa Gateway LG01-N fallas en el módulo RFM98W pueden provocar cambios en la respuesta de la radio frecuencia. Asimismo, cambios en la sensibilidad máxima (168 dBm) a la par de oscilaciones en el output constante (+20 dBm-100 MW) pueden garantizar cambios en el rendimiento de los resultados.

2.4.3 Ganancia

Por otro lado, la característica más importante de un proceso de radiofrecuencia viene a ser la ganancia de potencia en amplificación de la señal. Esta ganancia se mide en decibelios (dB). Cuanto mayor sea el resultado en decibelios, mayor es la ganancia de radiofrecuencia. Esta medida representa la relación entre la potencia de la antena emisora y el campo donde se emite la señal de radio. Esta propiedad representa un proceso activo en el desarrollo de dispositivos de radiofrecuencia, debido a que la amplificación de la señal es crucial para la recepción de los resultados de la señal. En el dispositivo LoRa Gateway LG01-N, el proceso activo en la ganancia de potencia de la señal se mide de acuerdo a los resultados de la antena acoplada al módulo. Mientras mayor es la ganancia obtenida, mejor es la antena instalada.

2.4.4 Pérdida de Retorno

En contraposición, la pérdida de retorno es la relación, medida en decibelios, entre la potencia directa del dispositivo emisor y la potencia reflejada en el lugar de recepción. Cuanto menor sea el resultado en decibelios en la antena receptora, mayor es la pérdida de

radiofrecuencia. Comúnmente, la pérdida asociada se debe a señales de ruido que impiden la llegada completa de la información emitida. Sin embargo, en dispositivos como LoRa Gateway LG01-N la pérdida de retorno logra ser en la mayoría de los casos mínima, debido a la robustez del módulo ante el ruido o interferencia externa.

2.4.5 Propiedades de la Radio Frecuencia

Otra de las especificaciones a tomar en cuenta son las propiedades de este tipo de onda debido a la posibilidad de interferencias externas que faciliten o agraven la ganancia en la potencia de la radiofrecuencia. Entre estas se pueden enunciar las siguientes.

2.4.5.1 Reflexión

La reflexión es el cambio de trayectoria del movimiento de onda que incide en el medio luego de chocar o reflejarse en una superficie reflectora. Las reflexiones de radiofrecuencia ocurren por distintos elementos o construcciones por los que pasa la onda de radio, tales como la tierra, los edificios, las paredes entre otros. El cambio en la trayectoria (ver Figura 15), en la mayoría de los casos, genera efectos adversos en la comunicación entre dispositivos, debido a que se generan brechas y se afecta totalmente la cobertura de radiofrecuencia.

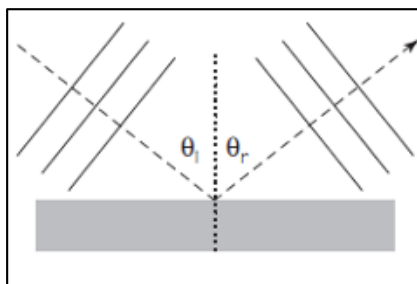
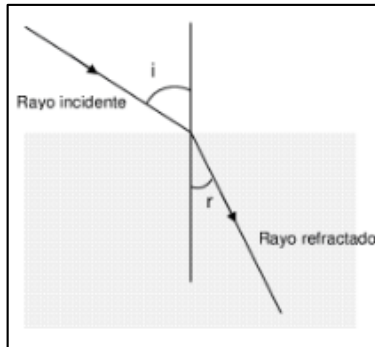


Figura 15. Reflexión debido a una superficie
Fuente: (Cassidy, Holton, & Rutherford, 2002)

2.4.5.2 Refracción

La refracción se traduce en el cambio de trayectoria que sufre una onda, debido a la transición hacia otro medio de diferente densidad. Cuando la onda cambia de medio (ver figura 16), se produce un cambio en la dirección, este cambio puede resultar en un reflejo o en una

refracción en un mismo ángulo de incidencia. La refracción puede significar un obstáculo al traslado de información en redes de radiofrecuencia de largas distancias, gracias a que estas pueden refractar la señal más lejos de lo previsto o la dispersan hacia otro medio no esperado.



$$n = \frac{c}{v}$$

n = índice de refracción

c = velocidad de la luz en el espacio libre

v = velocidad de la luz en determinado material

Figura 16. Reflexión debido a una superficie 2

Fuente: (Cassidy, Holton, & Rutherford, 2002)

2.4.5.3 Difracción

La difracción es el resultado de la desaceleración de la onda de radiofrecuencia en un punto donde esta choca contra un obstáculo del medio circundante. Esta se produce cuando la onda de radio queda obstruida por una superficie con irregularidades (ver Figura 17). El resultado final es una degradación notable de la velocidad de la onda y un cambio en la dirección de esta. La difracción resulta en un atraso en la llegada de la onda a su destino y, por ende, una pérdida de latencia en el resultado de retorno de onda.

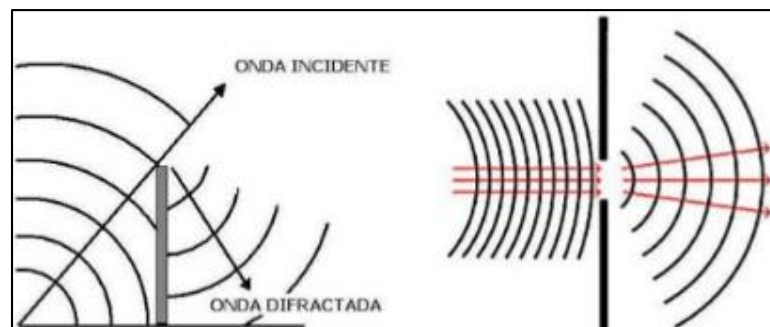


Figura 17. Ondas de difracción

Fuente: (Cassidy, Holton, & Rutherford, 2002)

2.4.6 Principios de Antenas

Para resumir, los cambios en la trayectoria y velocidad de la onda de radiofrecuencia se deben a propiedades específicas del medio. La cantidad de construcciones, las partículas de polvo pesado hasta la cantidad de objetos presentados en el entorno pueden generar variaciones en la dirección o provocar un aumento en la pérdida de retorno en la recepción de la onda. Sin embargo, estas características no son suficientes para conocer su comportamiento. Ahora, se hace necesario desarrollar el funcionamiento de estas ondas desde el punto de vista de la antena emisora.

Una antena es un conductor metálico capaz de emitir o captar ondas electromagnéticas. Estas a diferencia del medio, poseen un comportamiento pasivo. No pueden amplificar ni manipular la señal, solo puede crear un efecto de amplificación por sí misma. Asimismo, existen dos tipos de antenas: emisora y receptora. La primera posee una función transformadora de energía, la cual a partir de señales eléctricas variables las traduce y las irradia en ondas electromagnéticas hacia el medio. La segunda, convierte dichas ondas emitidas en señales eléctricas variables. Es decir, ambas realizan labores complementarias, mientras que la primera emite, la otra traduce y recibe la información. Ejemplos de estas señales son las ondas de radiofrecuencia o las ondas televisivas. La propagación de estas se puede realizar por dos medios:

- ❖ Desde la antena emisora hasta la receptora de forma directa.
- ❖ Desde una antena emisora hacia la ionósfera, la cual refleja las ondas de radiofrecuencia recibidas hasta una antena receptora en la superficie

En la Figura 18 puede apreciarse el camino seguido por las ondas durante la comunicación de dos antenas. Las ondas que se generan se dispersan en el ambiente con posibilidad de rebote en la Ionosfera.

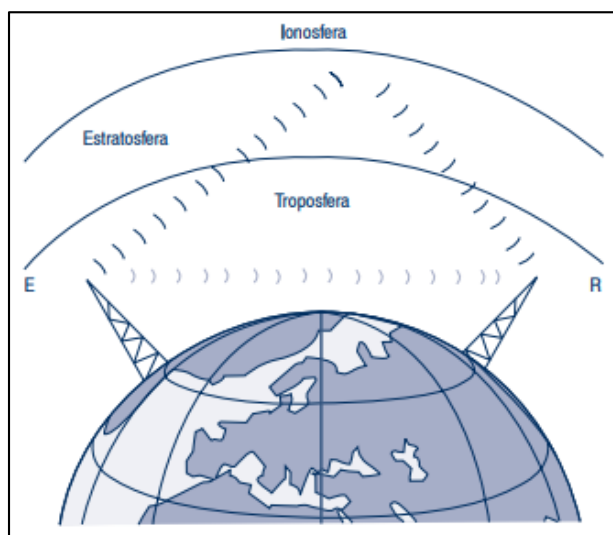


Figura 18. Camino seguido por las ondas
Fuente: (Unidad Educativa Fiscomisional Don Bosco, s.f.)

2.4.6.1 Línea de Vista (LoS)

La Line of Sight (LoS) o línea de vista es el camino sin obstáculos, que se encuentra entre las antenas de emisión y recepción. Para la existencia de una mejor propagación de las señales de radiofrecuencia, es necesaria una LoS sin objetos externos que impidan la recepción de la señal emitida.

Luego, para lograr esta condición es necesario instalar los dispositivos de comunicación en zonas donde la inexistencia de objetos irruptores sea necesaria. Sin embargo, si en condiciones óptimas se logra generar un ambiente de este tipo, siempre existirán factores que impidan una línea de vista sólida en el proceso de comunicación. El principal, la zona de Fresnel.

2.4.6.2 Zona de Fresnel

La zona de Fresnel es el área elipsoidal alrededor de la línea de vista. Esta zona ocupa una gran importancia en la recepción de las líneas de radiofrecuencia, debido a que define un campo en el que puede introducirse una serie de interferencias, lo que determinará el bloqueo de la señal emitida. Generalmente, las colinas, los árboles y edificios pueden convertirse en interferencias, estas pueden difractar o reflejar la señal principal lejos de la antena receptora, lo cual causa degradación o pérdida completa en la comunicación.

En la Figura 19 puede apreciarse la línea de vista entre dos equipos de telecomunicaciones, reflejando la relación entre altitud, posición y alcance de la señal de transmisión.

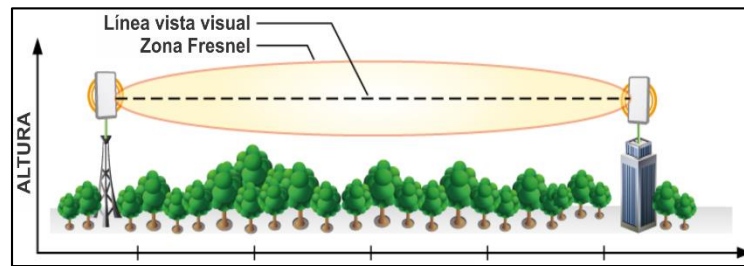


Figura 19. Line of Sight (LoS)
Fuente: (Zona Industrial, s.f.)

2.4.6.3 Ganancia de la antena

La característica más importante de una antena es la ganancia en la potencia en la señal emitida o recibida. Mientras mayor es la potencia recibida, mayor es la capacidad de la antena instalada en el medio. En el caso del dispositivo LoRa Gateway LG01-N, mostrado en la Figura 20 adjunta, la antena de 433 MHz puede poseer una alta sensibilidad de hasta -148 dBm.



Figura 20. Antena de LoRa
Gateway LG01-N
Fuente: (DRAGINO, s.f.)

2.4.7 Propagación de la tecnología del espectro

Ahora, los modelos que contribuyen a la medición correcta de los parámetros intervinientes en el proceso de comunicación mediante radiofrecuencia deben responder a los componentes básicos del modelo de transmisión de ondas. Estos modelos en el cálculo de potencias son:

- ❖ Potencia del dispositivo transmisor
- ❖ Potencia al final de conector
- ❖ La pérdida y ganancia de los dispositivos interconectados

❖ Potencia del elemento de la antena (EIRP)

En la Figura 21 puede apreciarse los componentes básicos de la transmisión. Estos son el transmisor, receptor, antena, ondas de radio y modulador de frecuencia.

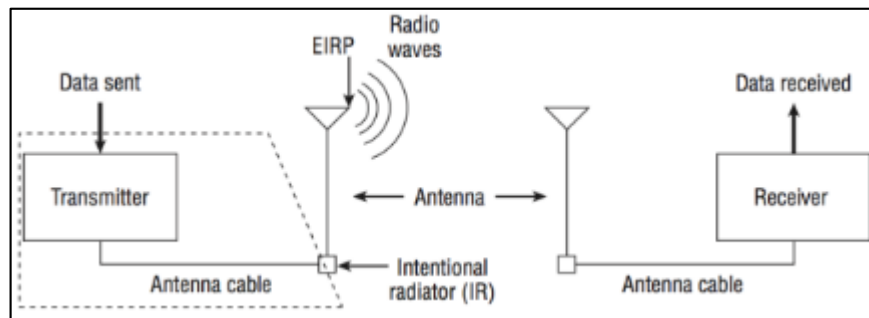


Figura 21. Componentes básicos de la transmisión
Fuente: (CISCO, s.f.)

Ahora, antes de adentrarse a los cálculos directos de las potencias integradas se debe especificar las unidades de medida y mecanismos de cuantificación internos para la medida de los cálculos.

2.4.7.1 Necesidad de modular

Para lograr la transmisión de información se requiere una etapa de modulación donde la información de la fuente se mezcla con una señal de mayor frecuencia denominada portadora. Esta señal añadida es modificada por la señal de información en cuanto a su amplitud, frecuencia o fase. Es imperante la etapa de modulación para asegurar la transmisión de la información. Los siguientes puntos refuerzan esta idea:

- ❖ Las irradiaciones de señales a bajas frecuencias se vuelven en extremo difíciles aún con antenas de alta potencia y baja pérdida.
- ❖ Eventualmente sucede que las señales de información ocupen iguales bandas de frecuencia y se transmitan simultáneamente, esto genera interferencias.

Para evitar los inconvenientes expuestos se debe utilizar una banda distinta o cambiar de canal de frecuencia y para conseguirlo se necesita modular la señal de información.

2.4.7.2 *Espectro de potencia y energía*

Dependerá del ancho del canal del sistema de comunicación, siempre que su ancho sea lo suficientemente amplio para dejar fluir las frecuencias acumuladas en el lóbulo primario, gran parte de la energía podrá ser transferida en el pulso.

$$P = \frac{E^2}{R} \quad P = I^2 \times R$$

2.4.7.3 *Ruido Térmico*

Se llama ruido térmico al movimiento veloz y al azar de los electrones dentro de un conductor por causa de agitación térmica de sus moléculas. La presencia de ruido en la señal de transmisión favorece la destrucción de información. Si bien a frecuencias altas es demostrado que su presencia llega a ser nula, no es suficiente para dejar de controlar este factor. Por lo tanto, siempre es necesario calcular su presencia y no incrementarla.

$$N = KTB$$

$$N = \text{potencia del ruido (watts)}$$

$$K = \text{constante de Boltzmann}(1.38 \times 10^{23} \text{ joules por grado Kelvin})$$

$$T = \text{temperatura (Kelvin)}$$

$$B = \text{ancho de banda (Hz)}$$

2.4.7.4 *Factor de Ruido (F) y cifra de ruido (NF)*

Ambas son cifras para indicar el grado de deterioro de la relación señal a ruido cuando la señal circula por un circuito o varios.

El factor de ruido da información de cuanto se redujo la relación señal a ruido a través del cociente entre el valor señal a ruido de la entrada respecto al valor de señal a ruido presente en la salida.

$$F = \frac{\text{relación de potencia de señal a ruido en entrada}}{\text{relación de potencia de señal a ruido en salida}}$$

La cifra de ruido es la conversión del factor de ruido en unidades de decibeles para indicar la calidad de un receptor de comunicación.

$$NF(dB) = 10 \log F$$

2.4.8 Unidades de medida

2.4.8.1 Vatios (W)

La unidad básica de potencia es el vatio. Este se define conceptualmente como la cantidad de energía en julios que es transformada, utilizada o bien disipada en un intervalo de segundo.

2.4.8.2 Decibelios (dB)

El decibelio es una unidad que se utiliza para expresar valores de presión, tensión y potencia eléctrica. Usualmente, esta unidad es usada en la medición de ganancias o pérdidas de potencia al realizar una comparación respecto a una referencia fija.

2.4.8.3 Milivatio (mW)

Es la unidad de medida para representar la potencia absoluta en redes inalámbricas de radiofrecuencia.

Capítulo 3

Metodología de desarrollo del proyecto

3.1 Tecnología a emplearse en la solución de monitoreo

El mundo de la IoT presenta diferentes alternativas para establecer puentes de comunicación con los dispositivos electrónicos. Estas alternativas pueden implementarse con cableado como lo son el Power over Ethernet (PoE), inalámbricas como las tecnologías de uso frecuente bluetooth, WiFi, 4G o mixtas.

Como respuesta al creciente aumento de necesidades y frente a la carencia de las tecnologías tradicionales en cuanto al rango de alcance, las tecnologías LPWAN ofrecen mejores características en cobertura, bajo costo de implementación, posibilidad de escalabilidad del sistema IoT y reducido consumo eléctrico. Su puesta en marcha permite el uso de diversos equipos de medición con variadas características que definirán sus costos.

3.1.1 Criterios en elección de tecnología LPWAN

La tecnología LoRa es la más adecuada para ser aplicada como herramienta de solución en este proyecto. El objetivo de enviar reducidas tasas de datos a una extensión de gran proporción, la búsqueda en la minimización de costos operativos, la necesidad de un sistema flexible para el control de los estándares de calidad en el insumo elegido son características esenciales en la toma de decisiones para este proyecto.

En adición, si bien el costo de oportunidad se encuentra representado por los demás protocolos LPWAN, la alternativa elegida supera, y por mucho, la minimización y flexibilidad de servicio ofrecidas por las demás opciones. Un ejemplo que refleja esta idea es la inexistencia de inversión por uso de la tecnología en redes LPWAN de la corporación LoRa, que gracias a su protocolo abierto LoRaWAN permite la facilidad de acceso y uso en tecnologías de largo alcance. Por ello, se hace necesario repetir el concepto: bajo consumo a largas distancias.

Los criterios de costo de operación, soporte del proveedor, cobertura en el área altiplánica, facilidad de acceso, vulnerabilidad del sistema, número de proyectos aplicados con esa tecnología, diversidad de bandas y posibilidad de expansibilidad fueron necesarios en la comparación entre las tecnologías para decidir por la más adecuada y óptima como herramienta de solución.

La Tabla 11 presenta comparaciones entre todas las alternativas existentes. Además de presentar ponderaciones parciales acerca de la viabilidad necesaria para este proyecto integrador.

Tabla 11.
Cuadro de comparación en términos de costo y soporte

	Criterio	Ponderación	Alternativas				
			W-W	LTE-M	NB-IoT	Sigfox	LoRa
1	Costo de operación	20%	1	1	1	2	4
2	Soporte del proveedor	10%	5	5	5	4	4
3	Cobertura en el área Altiplánica	10%	1	1	1	3	4
4	Facilidad de acceso	25%	1	1	1	3	4
5	Vulnerabilidad en sistema	10%	4	4	4	4	3
6	Proyectos aplicados	5%	1	2	2	3	5
7	Diversidad de bandas	10%	2	1	1	3	5
8	Expansibilidad	10%	1	3	5	4	4
	Total	100%	1.8	1.95	2.15	3.1	4.05

Nota: Autoría propia

3.1.2 Criterios en elección de tecnología para la unidad de control

La elección del controlador se realizó en base a la siguiente pauta:

- Disponibilidad del dispositivo
- Interfaces externas soportadas
- Capacidad de almacenamiento

- Entorno de programación y librerías

Bajo esta pauta se opta por la plataforma de Arduino. Al ser de fácil acceso y con una gran comunidad en internet cuenta con soporte para distintos tipos de módulos de uso general y específico.

La Tabla 12 muestra una comparación entre diferentes tarjetas electrónicas de la compañía Arduino. Se comparan los microcontroladores, cantidad de pines digitales, capacidad de memoria y velocidad de reloj interno.

Tabla 12.
Comparación entre Arduinos

Característica de Arduino	UNO	Mega 2560	Leonardo	DUE
Tipo de microcontrolador	Atmega 328	Atmega 2560	Atmega 32U4	AT91SAM3
Velocidad de reloj	16MHz	16MHz	16MHz	84MHz
Pines digitales de E/S	14	54	20	54
Entradas analógicas	6	16	12	12
Salidas analógicas	0	0	0	2 (DAC)
Memoria de programa (Flash)	32kb	256kb	32kb	512kb
Memoria de datos (SRAM)	2kb	8kb	2.5kb	96kb
Memoria auxiliar (EEPROM)	1kb	4kb	1kb	0kb

Nota: (Rivamar, 2013)

Al comparar los diferentes dispositivos y sus capacidades se escoge el Arduino uno, al ser necesario medir solo 3 parámetros no existe la necesidad de un dispositivo de gran cantidad de entradas ni gran capacidad de almacenamiento.

3.1.3 Criterios en elección de tecnología para los sensores

3.1.3.1 Sensor de temperatura

Para la definición de los sensores adecuados se debe tener conocimiento del proceso que en este caso es el transporte de lácteos en comunidades andinas por ende se considera lo siguiente para el sensor de temperatura:

- Margen de medida
- Precisión
- Sensibilidad
- Encapsulado

A continuación, la Tabla 13 compara los diferentes sensores de temperatura según los valores de voltaje, rango de temperatura, precisión de medida y si presenta encapsulado para líquidos.

Tabla 13.
Comparación sensores de temperatura

Sensor	Lm-35	DS18B20	DH-T11
Voltaje de operación	4V a 30V	3V a 5.5V	3V a 5V
Rango de temperaturas	-55°C a 150°C	-55°C - +125°C	0 - 50°C
Precisión	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,3^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
Encapsulado prueba de líquidos	No	Si	No

Nota: Autoría propia

Debido a la precisión de 0.3°C , su encapsulado de acero inoxidable y recubrimiento del cable y su voltaje de operación de 3V a 5V se ha escogido el DS18B20 para el proyecto

3.1.3.2 Sensor de GPS

Para la elección de gps se consideraran los siguientes ítems como pauta:

- Consumo
- Interface

- Frecuencia de refresco
- Precisión
- Tiempo de inicio

La Tabla 14 muestra los datos técnicos de dos módulos GPS referente a su voltaje de operación, consumo de corriente, interface de comunicación, frecuencia de refresco, precisión de medida y retardo en tiempo de inicio.

Tabla 14.
Comparación entre módulos GPS

Modelo	GPS NEO 6M	GPS Shield L80
Voltaje de operación	3.5V a 5v	3.3V
Consumo	37mA	25mA
Interface	Serial UART 5V	Serial UART 1.8V, 3.3V, 5V
Frecuencia de refresco	5Hz	1Hz
Precisión	2.5m	2.5m
Tiempo de inicio	30 seg	35 s

Nota: Autoría propia

Debido a su mayor frecuencia de refresco y su menor tiempo de inicio se ha decidido utilizar el GPS NEO 6M, cabe destacar que es un módulo de uso común por lo que es fácil obtenerlo en cualquier tienda que trabaje con Arduino.

3.1.3.3 Sensor de pH

Debido a que el insumo es líquido y presenta gran cantidad de volumen para su transporte se decide por usar una sonda de lectura de Ph. Para ello en el mercado existe por separado un circuito acondicionador de la señal de tensión y sondas.

La Tabla 15 compara diferentes sondas de pH donde el electrodo 65-1 y BX-5 no presentan protección contra el ruido.

Tabla 15.
Comparación sondas de pH

Tipo de Electrodo	Rango de Ph	Temperatura (°C)	Punto cero (pH)	Tiempo de respuesta (min)	Ruido (mV)
65-1	0-14	0-80	7±1	< 2	
BX-5	0-14	0-80	7X±11	< 2	
E-201	0-14	0-80	7X±0.5	< 2	<0.5
E-201-C	0-14	0-80	7X±0.5	< 2	<0.5
95-1	0-14	0-80	7X±0.5	< 2	<0.5
E-900	0-14	0-80	7X±0.5	< 2	<0.5

Nota: (Scidle , 2017)

Como se observa en la tabla existen diferentes alternativas donde su diferencia se encuentra en la vulnerabilidad al ruido y la precisión de medida.

Teniendo en cuenta que en el mercado de artículos electrónicos se encuentra con frecuencia la sonda E-201-C que en promedio se considera sonda para correctas medidas, esta será la escogida en para el desarrollo de la solución de este proyecto

3.1.4 Criterios en elección de tecnología para implementación de red LPWAN

3.1.4.1 Gateway LoRa

La empresa Dragino es reconocida por desarrollar Kits educativos que permiten al usuario desarrollar aplicaciones en el mundo de la IoT. Dentro de sus ofertas de equipos Gateway se encuentran diferentes alternativas que se diferencian en sus frecuencias de trabajo, radio de cobertura, acceso a internet, microcontrolador programable, entre otros.

La Tabla 16 compara diferentes tipos de gateway Dragino dos presentan comunicación half dúplex y el restante full dúplex. También otra diferencia entre estos es el modulador de frecuencia.

Tabla 16.
Comparacion Gateway Dragino

Equipo	LG01-P/LG01-S/OLG01	LG01-N/OLG01-N	LG01/OLG02
Chip RF	SX1276/SX1278 LoRa Modulo RF		
Overview	Normalmente trabaja: Protocolo privado Solo transmite en single frequency		
Descripción	Single Channel	Single Channel	Dual Channel
Open Source	Si	Si	Si
Protocolo LoRa	Private LoRa or Packet Forward	Private LoRa or Packet Forward	Private LoRa or Packet Forward
Posibilidad de configurar el protocolo	Si, requiere habilidades en Arduino	Si, requiere habilidades en Linux	Si, Requiere habilidades en Linuz
LoRa Module	1Xsx127x	1Xsx127x	2Xsx27x
TX/RX Channels	1 x TX or 1 RX , half duplex	1 x TX or 1 RX , half duplex	2x TX/RX, Full duplex(current software only use 1 TX + 1 RX)

Nota: (DRAGINO, s.f.)

Se escoge el gateway LG01-N que es adecuado a los requerimientos de la problemática, facilita la libre creación de nodos, el protocolo es regulable referente a los parámetros de frecuencia, el chip modulador es comercial por ende no existirán problemas en compatibilidad de comunicación entre nodos y Gateway.

3.1.4.2 Shields y placas Arduino LoRa

Existen diferentes alternativas de equipos que trabajan con tecnología LoRa entre estos se encuentran desde equipos embebidos acoplados con CPU hasta equipos montables en las tarjetas de la familia Arduino.

La Tabla 17 compara las diferentes placas LoRa adaptables con Arduino.

Tabla 17.
Comparación de placas LoRa

	MKRWAN 1300	Moteino	Dragino	ESP32 LoRa
Memoria flash	256kB	128kB	Del Arduino a usar	4MB
SRAM	32kB	16kB	Del Arduino a usar	16KB
Tamaño	67,64x25mm	1.0x2.0"	62x43x23mm	52x25.4x10.3mm
Transceiver	SX1276	RFM69	SX1276/SX1278	SX1276
Frecuencia	860-930MHz	869-915MHz	915MHz/868MHz/433MHz	868MHz/915MHz
Modulación	FSK, OOK, LoRa	FSK, OOK, LoRa	FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa	FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa
CPU	ARM Cortex	ATmega328p	Del Arduino a usar	ESP32

Nota: (Crespo, 2018)

Se escoge la alternativa de shields de Dragino por su múltiple oferta en frecuencias y su compatibilidad con el Gateway LG01-N ya que ambos tienen la misma variedad de frecuencias y pertenecen a la misma empresa.

3.2 Tecnología LoRa

3.2.1 Protocolo LoRaWAN

Protocolo de red presente en la capa de enlace, que aplica la tecnología radio LoRa. Sirve para comunicar y administrar dispositivos de IoT. Presenta control de acceso al medio de redes públicas (Media Access Control).

Características:

- ❖ Permite el flujo de información en ambas direcciones.
- ❖ Codifica la información transmitida.
- ❖ Registra nodos en la nube a través del modo OTA.
- ❖ Favorece la creación de redes privadas.
- ❖ Posibilita su multidifusión.
- ❖ Amplio rango de operación.

En la Figura 22 puede apreciarse la capa de red del protocolo LoRaWAN.

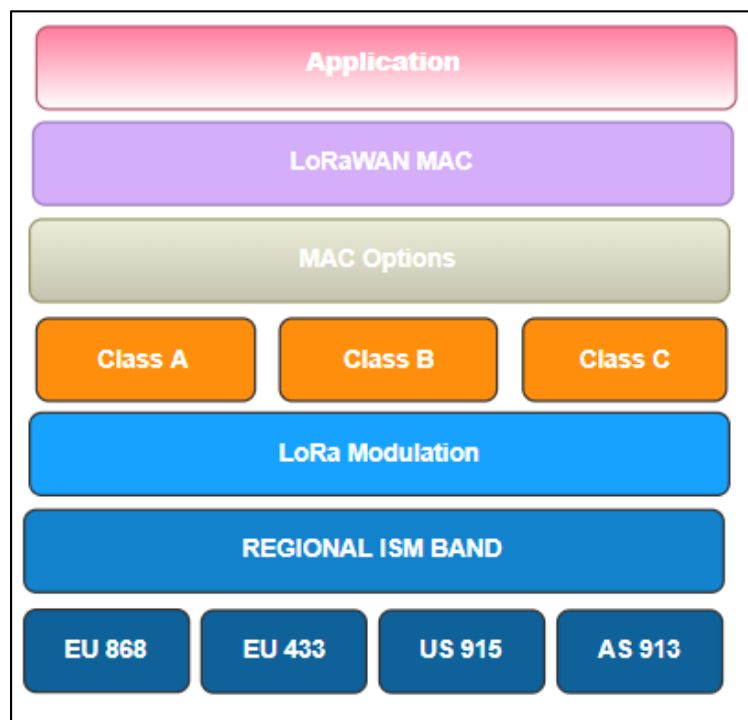


Figura 22. Capa de red Protocolo LoRaWAN
Fuente: (MEDIUM, s.f.)

3.2.1.1 Plataforma TTN

Es una plataforma web con un conjunto de herramienta de libre acceso y uso para construir aplicaciones de IoT a bajos costos, posibilidad de escalamiento y cifrado de datos para incrementar la seguridad. The Things Network es una red segura y colaborativa del mundo del internet de las cosas. A continuación la Figura 23 muestra el símbolo de esta plataforma web.



Figura 23. Icono de The Things Network
Fuente: (TTN, s.f.)

A continuación se describirá un breve ejemplo de cómo direccionar el protocolo LoRaWan con la plataforma de uso público TTN.

Prueba de LoRaWAN como network

Tipología y flujo de datos

Se realiza la conexión de los dispositivos y se enlazan al Gateway para la comunicación bidireccional y su posterior reenvío al server de LoRaWan.

Creación de gateway en TTN server

En la plataforma de configuración del Gateway se extrae su ID para ingresarlo en el servidor público TTN de esta forma se validará el equipo conectado para la comunicación con este servidor (ver Figura 24).



Figura 24. Gateway en TTN
Fuente: Autoría propia

Configuración de gateway

Singresan los parámetros como proveedor de servicios “The Things Network”, “ttn-router-asia-se” y el puerto 1700. También se colocaron los parámetros para el radio de cobertura, Los

valores ingresados fueron determinados por el proveedor de la tecnología que para este caso viene a ser Dragino (ver Figura 25).

Service Provider	<input type="text" value="The Things Network"/>	Frequency (Unit:Hz)	<input type="text" value="505300000"/>
Server Address	<input type="text" value="ttn-router-asia-se"/>	Spreading Factor	<input type="text" value="SF12"/>
Server Port	<input type="text" value="1700"/>	Coding Rate	<input type="text" value="4/5"/>
		Signal Bandwidth	<input type="text" value="125 kHz"/>

Figura 25. Configuración de gateway LG01-N
Fuente: Autoría propia

Creación LoRa shield como end node

En la plataforma de TTN se genera aplicación OTAA, de esta se extraen los códigos para autenticación de EUI, APP. Esos códigos se integrarán en la programación de Arduino y será los identificadores con el aplicativo creado en el servidor.

En el programa Arduino se codifica sentencias para el ingreso de valores de temperatura y posición. Estos valores serán transmitidos y almacenados en el servidor público de TTN (ver Figura 26).

```

void onEvent (ev_t ev) {
  Serial.print(os_getTime());
  Serial.print(": ");
  switch(ev) {
    case EV_SCAN_TIMEOUT:
      Serial.println(F("EV_SCAN_TIMEOUT"));
      break;
    case EV_BEACON_FOUND:
      Serial.println(F("EV_BEACON_FOUND"));
      break;
    case EV_BEACON_MISSED:
      Serial.println(F("EV_BEACON_MISSED"));
      break;
  }
}

```

APPLICATION DATA

Filters

	time	counter	port	
▲	11:57:36	8	1	payload: 01 67 01 0E 02 68 7C 03 01 01 digital_out_3: 1 relative_humidity_2: 62
▲	11:56:33	7	1	payload: 01 67 01 0E 02 68 7A 03 01 01 digital_out_3: 1 relative_humidity_2: 61
▲	11:55:30	6	1	payload: 01 67 01 18 02 68 78 03 01 01 digital_out_3: 1 relative_humidity_2: 60
▲	11:54:28	5	1	payload: 01 67 01 18 02 68 76 03 01 01 digital_out_3: 1 relative_humidity_2: 59

Figura 26. Lora Shield como end node
Fuente: Autoría propia

Creación de end node con GPS LoRa Shield

En The Things Network se configura una aplicación en modo ABP de donde se extraen los códigos de autenticación Device address, Network Session Key y App Session Key.

En la plataforma de Arduino se programa añadiendo los tres códigos extraídos para ser identificados con la aplicación ABP (ver Figura 27).

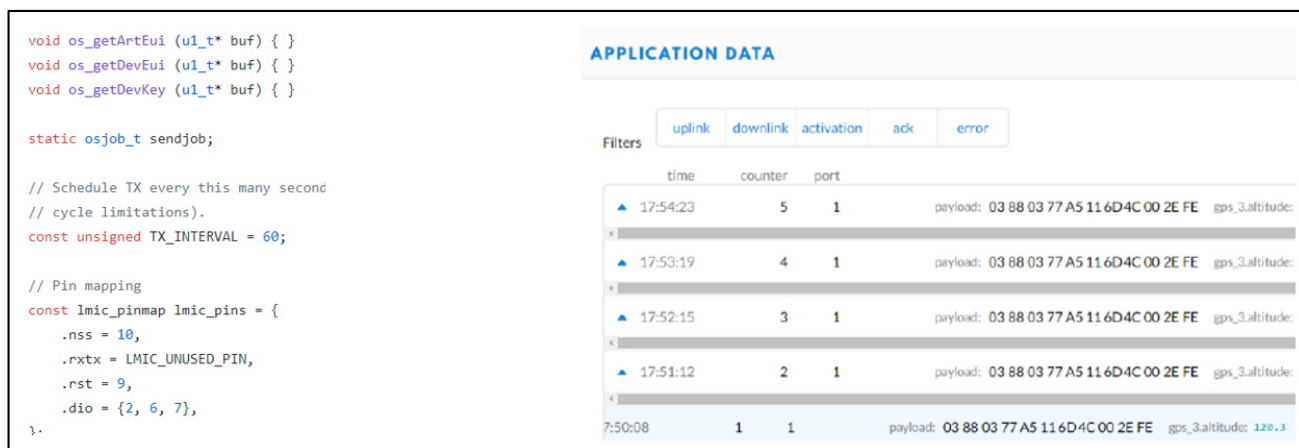


Figura 27. Creación de end node con GPS LoRa Shield
Fuente: Autoría propia.

Diferencias entre modo de trabajo OTAA y ABP

Se comparó el modo de configuración OTAA con ABP donde se validó su diferencia en privacidad de red. OTAA resultó ser seguridad mientras que ABP resultó favorable en cuanto a libre acceso. Por ello en aplicaciones donde la seguridad y privacidad de información impere OTAA será el modo de trabajo

3.2.2 Protocolo MQTT

Es un protocolo creado en el año 1999 por la compañía IBM y Arcom. Facilita la conexión de dispositivos en el mundo de la IoT. Sus pilares de comunicación se originan en el enlace TCP/IP, es decir cada dispositivo necesitara de un identificador para recibir y enviar su información. La forma de comunicación se da en envío de mensajes entre cliente y servidor a través de un tópico ordenado de forma jerárquica.

Con los comandos de Linux en el protocolo MQTT los códigos [-t] se les reconoce como tópico y a los códigos [-m] son reconocidos como mensaje. La Figura 28 muestra los códigos enviados a través del protocolo MQTT en el Gateway Dragino.

```

login as: root
root@10.130.1.1's password:

BusyBox v1.28.3 () built-in shell (ash)

  DRAGINO
-----
W i F i , L i n u x , M C U , E m b e d d e d

OpenWRT 18.06
Version: Dragino-v2 LG02 LG08-5.1.1550226949
Build Fri Feb 15 18:35:49 CST 2019
www.dragino.com
-----

root@dragino-1cfa08:~# logread -f
Tue Feb 18 02:02:39 2020 daemon.info lg01_pkt_fwd[19099]:
Tue Feb 18 02:02:39 2020 daemon.info lg01_pkt_fwd[19099]: RXTX~ Receive (HEX):3c383337393e66669656c64353d32322e37266669656c64363d2d31332e3
372e303736
Tue Feb 18 02:02:40 2020 user.notice root: [IoT.MQTT]: Find Match Entry for 8379
Tue Feb 18 02:02:40 2020 user.notice root: [IoT.MQTT]: [-t] channels/987408/publish/5NPTT0KV58oIUoJU
Tue Feb 18 02:02:40 2020 user.notice root: [IoT.MQTT]: [-m] field5=22.7&field6=-13.19&field7=-12.075&field8=-77.076&status=MQTTPUBLISH
Tue Feb 18 02:02:42 2020 daemon.info lg01_pkt_fwd[19099]:

```

Figura 28. Protocolo MQTT Dragino

Fuente: Autoría propia

3.2.2.1 Plataforma Thing Speak

Thing Speak es una plataforma de uso público que facilita el tratamiento de la data recopilada en el mundo del IoT. Presenta una interfaz amigable al usuario lo que facilita la configuración de los dispositivos. Su funcionamiento consiste en la creación de canales donde se almacenan los datos recibidos a través de enlaces de comunicación y a su vez pueden ser utilizados y compartidos hacia otras aplicaciones y plataformas.

Diferencias entre modo público y privado

Los canales pueden ser editados para uso privado es decir bloquear la comunicación con otras plataformas o compartir sus datos. También presentan uso público en el que facilita el envío de data en estructuras json.

3.3 Diseño de la solución

3.3.1 LoRa y la radiofrecuencia

Mediante circuitos electrónicos se construyen sistemas de comunicaciones para la transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más localizaciones. La labor de estos sistemas consiste en la conversión de la fuente original de información en energía electromagnética, la cual, luego de ser encodificada, será emitida mediante ondas electromagnéticas en un espacio libre. Asimismo, las ondas electromagnéticas de radio son el

tipo de transmisión usado por LoRa para enviar codificaciones alfanuméricas o series binarias de información. De otra manera, LoRa es una forma de comunicación electrónica a base de sistemas digitales que utiliza las señales de radio para transmitir datos electromagnéticos en un espacio libre.

En la Figura 29 puede apreciarse el sistema de comunicación digital.

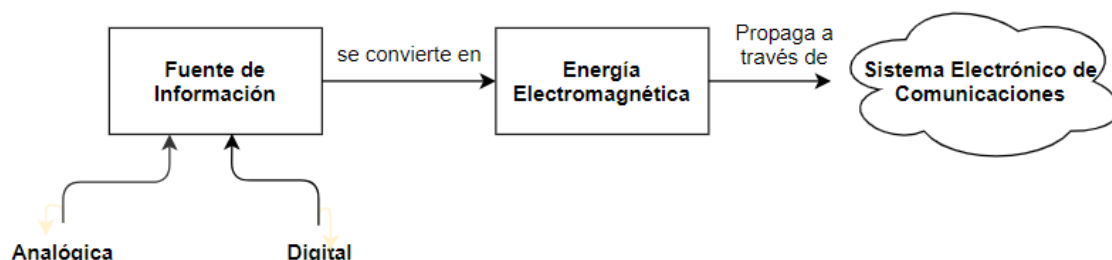


Figura 29. Sistema de comunicación digital
Fuente: (Tomasi, 2003)

3.3.1.1 Frecuencia de transmisión

En el rango de frecuencia de transmisión ultra alta (UHF) se ubican las ondas electromagnéticas. Estas son aplicadas en las emisiones comerciales, para los servicios de telefonía fija como móvil y ciertas señales de radar y navegación que usen sistemas de comunicación de radio por microondas. Distintas compañías utilizan esta banda de frecuencia para brindar servicios de rastreo satelital a diferentes bienes, según los deseos de sus clientes. Para puntualizar en el caso del dispositivo LoRa Gateway LG01-N esta banda es la que permite la comunicación y el rastreo de las actividades asignadas.

3.3.1.2 Modo de transmisión

Los sistemas electrónicos para comunicaciones son variados en cuanto a la dirección de envío y recepción de información. Existen sistemas de un solo sentido, estos son las señales de televisión, en donde solo se recibe la señal enviada. También los hay de doble sentido y simultáneo, como las señales de teléfono. Igualmente, los de ambos sentidos, pero no al mismo tiempo, como las emisoras servicio de radio push-to-talk. Y, por último, los que permiten la comunicación fluida y al unísono en múltiples estaciones.

LoRa se encuentra en el modo de transmisión Half Duplex (HDX), debido a que permite transmisiones en ambas direcciones, pero no simultáneamente.

3.3.2 Esquema de solución de la arquitectura de comunicaciones

La solución de monitoreo propuesta utiliza sensores para la medición de variables analógicas, dos módulos de radiofrecuencia RA-02 ubicados en los nodos, un Gateway LG01-N a una frecuencia de 433 MHz con alcance aproximado de 5km, además de interfaces web para uso en dispositivos electrónicos. Los sensores se conectan físicamente con el modulo RA-02 y, por su parte, el nodo y el Gateway presentan una comunicación inalámbrica. El gateway LoRa se encarga de recibir y enviar la información hacia el servidor público Thing Speak a través de una conexión inalámbrica WiFi a internet. Esta API (Thing Speak) recibe el mensaje y lo valida, luego la data que se considere útil se deriva a la plataforma IoT donde se gestiona para su almacenamiento y/o procesamiento. Los usuarios con permiso para acceder a la información podrán ingresar a la interfaz Thing Speak y trabajar con los datos recogidos por los nodos.

En la Figura 30 puede apreciarse la arquitectura del sistema de monitoreo.

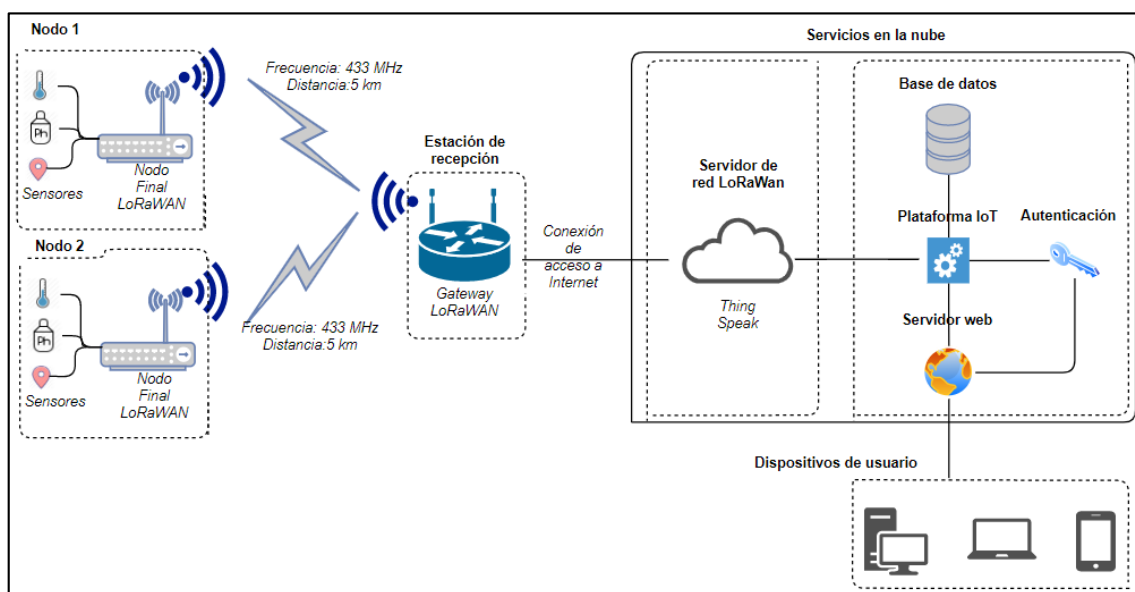


Figura 30. Arquitectura del sistema de monitoreo
Fuente: Aporte propio.

3.4 Esquema de solución del nodo sensor

Es el componente ubicado en los extremos de la red. Su función es acopiar estímulos externos convirtiéndolos en datos numéricos para su posterior transmisión al Gateway.

El nodo contiene las derivaciones eléctricas para el conexionado de sensores, un circuito analógico que permite el escalamiento de las señales físicas en digitales, el microcontrolador para el procesamiento de sentencias lógicas, un chip RA-02 de modulación de frecuencia y una batería para su alimentación.

En la Figura 31 puede apreciarse los componentes en el nodo.

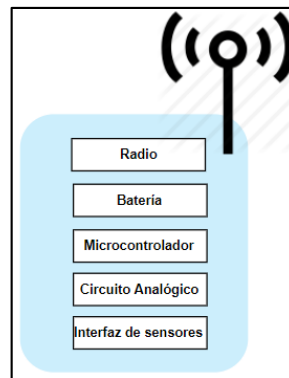


Figura 31. Componentes en el nodo
Fuente: Autoría propia

3.4.1 Diagrama de bloques del nodo

En la Figura 32 se observa el diagrama de bloques partiendo de los sensores hacia la comunicación simultánea con el Microcontrolador ATmega 328.

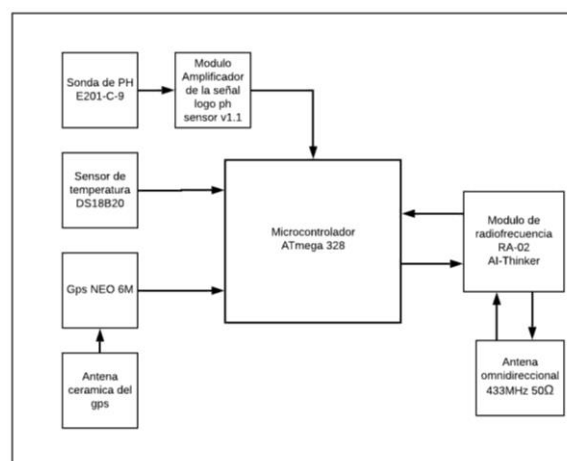


Figura 32. Diagrama de bloques del nodo
Fuente: Aporte propio

3.4.1.1 *Microcontrolador*

Componente electrónico ATmega328 encargado de procesar sentencias lógicas. Presenta en su programación bloques de escalabilidad para temperatura, pH y localización. Además de procesar los estímulos eléctricos provenientes de los sensores, adapta la información para enviarla al bloque LoRa de modulación. Se alimenta con una tensión de 5VDC.

3.4.1.2 *Módulo amplificador de la señal*

Circuito electrónico logo pH sensor v1.1 encargado de adaptar el estímulo eléctrico generado por el sensor de pH. Consiste en conexiones entre transistores y amplificadores que posibilitan el tratamiento de la señal eléctrica obtenida por el sensor. Presenta una alimentación de 5VDC.

3.4.1.3 *Sonda de pH*

E201-C-9, elemento terminal del nodo encargado de obtener estímulos eléctricos a causa de la diferencia de potencial entre dos electrodos, uno de referencia de plata o cloruro de plata y un electrodo de vidrio sensible al ion hidrógeno. Para su funcionamiento necesita alimentación de 5VDC.

3.4.1.4 *Sensor de temperatura*

Equipo electrónico DS18B20 conectado en los terminales del nodo para capturar estímulos eléctricos generados por la diferencia de calor. Requiere estar alimentado por 5VDC.

3.4.1.5 *GPS UBLOX*

Equipo electrónico GPS NEO 6M compatible con el protocolo NMEA para enviar comando de ubicación. Necesita una batería de reloj y una entrada de alimentación de 5V.

3.4.1.6 *Antena cerámica del GPS*

Pieza adicional del equipo para obtener mejor recepción de señal

3.4.1.7 Módulo de radiofrecuencia

Dispositivo electrónico Ra-02 AI-Thinker para modulación de frecuencia. Cumple la función de enviar datos hacia el gateway, para ello se comunica en el protocolo LoRaWAN. Necesita una alimentación de 3.3VDC para su funcionamiento.

3.4.1.8 Antena omnidireccional

Parte encargada de mejorar la transmisión y la recepción del módulo de radiofrecuencia, que está diseñada para 433MHz

3.5 Esquema de flujo del sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo contiene nodos de recepción conectados inalámbricamente a través del protocolo LoRaWAN.

- ❖ Estos nodos presentan una comunicación bidireccional con el Gateway a través del intercambio de información.
- ❖ El Gateway recibe la información y la deriva por medio del WiFi a la plataforma de código abierto Thing Speak.
- ❖ En esta plataforma se da un tratamiento a los datos, graficándolos y almacenándolos en el servidor público.

El siguiente diagrama muestra el flujo de información de todo el sistema, sirve como ayuda para entender la comunicación entre los procesos y como herramienta visual para ubicar posibles fallas durante el funcionamiento.

En la Figura 33 puede apreciarse el esquema de flujo del sistema de monitoreo.

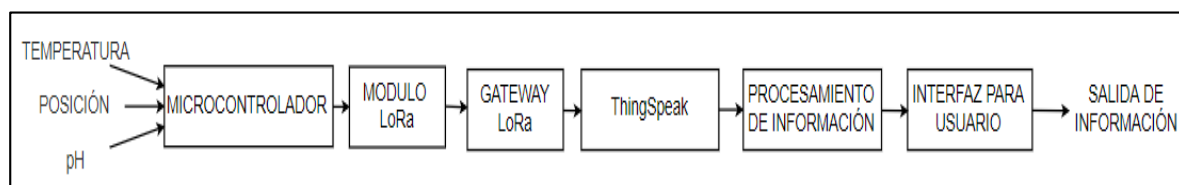


Figura 33. Esquema de flujo del sistema de monitoreo
Fuente: aporte propio.

3.6 Componentes físicos del sistema de monitoreo

El presente proyecto hace uso de materiales descritos en la Tabla 18 adjunta.

Tabla 18.

Descripción de los componentes del sistema de monitoreo

Cantidad	Nombre	Descripción
2u	Arduino UNO	Placa de microcontrolador de código abierto, microchip Atmel.
1u	GPS NEO 6M U-BLOX	Conlleva un EEPROM y antena.
2u	Display 16x2	Pantalla de cristal líquido para visualización de contenidos o información.
2u	Sensor de pH	Señal indicadora de pH, alimentación de 5V.
1u	LoRa Shield	Transceptor de largo alcance, permite envío de bajas tasas de información.
1u	Gps LoRa Shield	Placa de expansión LoRa/GPS para uso conjunto Arduino
2u	DS18B20 sonda de temperatura	Mediciones de temperatura en ambientes húmedos y mojados, a prueba de agua.
2u	Protoboard 400 puntos	Placa prototipo breadboard para realizar proyectos de electrónica sin necesidad de hacer soldaduras.
2u	Batería 3.7V, 2200mA	Batería de ion de Litio
2u	Módulo LM256	Convertidor DC a DC salida de tensión continua menor a la entrada.
2u	Soporte I2C	Hardware vinculado físicamente a ciertos pines.
1u	LoRa Gateway LG01-N	Sistema de código abierto permite conexión inalámbrica de nodos hacia internet
3u	Antena omnidireccional 433MHz	Permite comunicación inalámbrica, ideal para amplificar la cobertura de la señal

Nota: Autoría propia

3.6.1.1 Gateway LG01-N LoRa

LG01-N es un sistema de código abierto LoRa Gateway (ver Figura 34). Este permite la conexión inalámbrica hacia una IP por medio de WiFi, Ethernet o redes móviles, 3G o 4G. La conexión inalámbrica LoRa permite a los usuarios enviar y reenviar bajas tasas de información

a larga distancia a una gran velocidad. Durante dicho proceso de intercomunicación se inhibe a gran escala cualquier interferencia externa en la conexión. En consecuencia, este sistema y su gran simpleza para la conexión a Internet mediante interfaces Wifi, Ethernet y puertos USB, lo convierte en un método flexible para que los usuarios puedan conectar sus redes de sensores a la red principal: Internet.

En la Tabla 19 se indica las especificaciones técnicas del Gateway LG01-N.

Tabla 19.
Detalles técnicos de Gateway LG01-N

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Tipos de sistema	Código abierto OpenWrt
Consumo energía	Bajo
Actualización de firmware	Web
Servidor web	Incorporado con LoRaWAN
Conexión a Internet	LAN, WiFi, 3G, 4G
Ingreso a configuración	Enlace Web GUI, SSH
Alcance máximo	5 km
Prueba ante fallas	Sistema robusto
Compatibilidad con plataforma	Arduino IDE
Bandas disponibles	433/868/918/920 MHz
Cantidad de nodos	300
Voltaje de alimentación	12 V
Corriente de alimentación	1 A

Nota: (DRAGINO, s.f.)



Figura 34. Gateway LG01-N
Fuente: DRAGINO (s.f.).

3.6.1.2 LoRa Shield

LoRa Shield (ver Figura 35) es un transceptor de largo alcance dentro de la plataforma electrónica Arduino Shield. Este permite al usuario el envío de bajas tasas de información a largas distancias. Provee un extremadamente largo rango de comunicación y logra una inmunidad a la interferencia externa. Asimismo, este transceptor está basado en el chip Semtech SX1276/SX1278, el cual se encuentra dirigido al control y manipulación de sistemas de alumbrado, automatización en sistemas de alarma, detección de señal de teléfonos inteligentes, entre otros, mediante una red aplicada de sensores inalámbricos.

En la Tabla 20 se especifica los detalles técnicos del módulo LoRa Shield.

Tabla 20.

Detalles técnicos de LoRa Shield

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Sensibilidad	-148 dBm
Alimentación	3.3V o 5V
Banda de frecuencia	915/868/433 MHz
Consumo de energía	Bajo
Escalabilidad	Arduino Leonardo, UNO, Mega, DUE
Ubicación de antena	Externa
Conector de antena	I-Pex

Nota: (DRAGINO, s.f.)

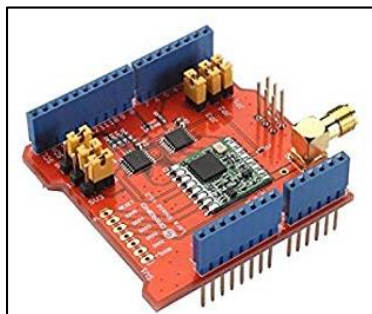


Figura 35. Lora Shield
Fuente: (DRAGINO, s.f.)

3.6.1.3 LoRa GPS Shield

LoRa GPS Shield (ver Figura 36) es una placa de expansión de LoRa™/GPS para el uso en conjunto con el Arduino. Este módulo GPS puede calcular y predecir cambios automáticamente usando la información acumulada en la memoria flash interna del chip Semtech SX1276/SX1278. A modo de resumen, entre sus labores automatizadas más importantes se encuentran:

- ❖ Mantener el equilibrio entre la precisión de funcionamiento y el consumo de energía de acuerdo con las condiciones medioambientales.
- ❖ Función automatizada de cambio de antena.
- ❖ Conmutación entre la antena interna y la antena activa externa.
- ❖ Y, el más importante, el posicionamiento automático durante el proceso de conmutación.

En la Tabla 21 se especifica los detalles técnicos del módulo LoRa GPS Shield.

Tabla 21.

Detalles técnicos de LoRa GPS Shield

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Banda de frecuencia	868/433/915 MHz
Compatible	Arduino Leonardo, UNO, Mega, DUE
Consumo de energía	Bajo
Modulación	FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa y OOK
Velocidad de transmisión	Configurable
Inmunidad de bloqueo	Excelente
Detección Automática	RF y CAD
Adquisición de energía	25 mA
Alimentación	3.3V o 5V

Nota: (DRAGINO, s.f.)

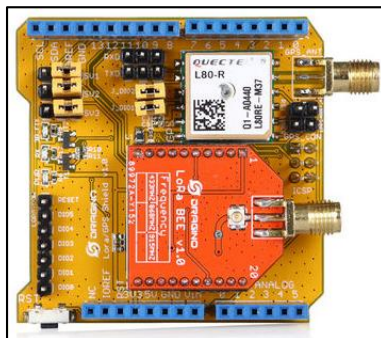


Figura 36. LoRa GPS Shield
Fuente: (DRAGINO, s.f.)

3.6.1.4 Arduino UNO

El Arduino UNO (ver Figura 37) es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip de alto rendimiento ATMEL mega328P AVR 8-bit. Esta placa posee en total 20 pines, entre los cuales 14 son digitales y los otros 6 analógicos. Todos ellos son programables con el Arduino UNO de desarrollo integrado a través de un USB tipo B. Esta placa posee todo lo necesario para manipular el controlador, es decir, mediante una conexión USB a un computador o una fuente de poder externa, mediante un adaptador AC-DC, se puede mantener el control total del controlador. En último caso, Arduino es una plataforma libre y, por ende, es posible obtener su diseño y flexibilizarlo a favor de la investigación deseada. En otras palabras, sus componentes no son restrictivos.

En la Tabla 22 se especifica los detalles técnicos de la placa Arduino UNO.

Tabla 22.

Detalles técnicos del Arduino UNO

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje operativo	5V
Voltaje de entrada	7-12 V
Pines de entradas/salidas digital	14 (6 modulación PWM)
Pines de entradas análogas	6
Memoria flash	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Velocidad de reloj	16 MHz

Nota: Plus Electric (2014)



Figura 37. Arduino UNO
Fuente: (Arduino, s.f.)

3.6.1.5 GPS UBLOX Neo-6M

El GPS Ublox (ver Figura 38) modelo NEO 6M es un módulo para Arduino UNO y microcontroladores. Este conlleva un EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), el cual es una ROM programable y borrrable eléctricamente, y una antena simple lista para colocarse en el PCB (Printed Circuit Board). Este solo necesita un rango de voltaje de 3.0 a 5.0 volts para funcionar, mientras que el voltaje en pines de comunicación que acepta solo deben ser de 3.3 volts. Es adaptable en controladores para drones y en localización GPS.

En la Tabla 23 se especifica los detalles técnicos del módulo GPS UBLIX Neo-6M

Tabla 23

Detalles técnicos de GPS UBLOX Neo-6M.

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Comunicación	Serial
Voltaje de alimentación	3.5-5VDC
Antena cerámica	Incluida
BAUDRATE	9600
Sensibilidad de captura	-148 dBm
Sensibilidad de rastreo	-161 dBm
Exactitud	1 micro segundo

Nota: (HETPRO Store, 2014)

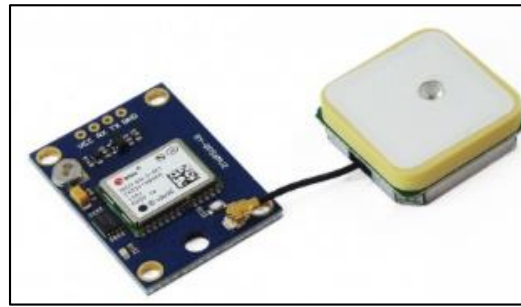


Figura 38. GPS UBLOX Neo-6M
Fuente: (HETPRO Store, 2014)

3.6.1.6 Sensor pH

El sensor de pH (ver Figura 39 y 41) realiza mediciones de potencial de hidrógeno mediante una conexión directa con el Arduino UNO. Este sensor no se encuentra diseñado para periodos prolongados de sumergimiento, sino solo para la medición inmediata del fluido. Se alimenta con una tensión de 5 V y entre 5-10 mA en corriente, presenta 7 pines que son salida de temperatura, señal indicadora de pH, valor de pH, dos de tierra y para alimentación.

Funcionamiento

Una sonda de pH consiste en dos partes el electrodo de vidrio u un electrodo para referencia. Las medidas de voltaje entre las diferencias de estos electrodos es lo que determina el valor de pH.

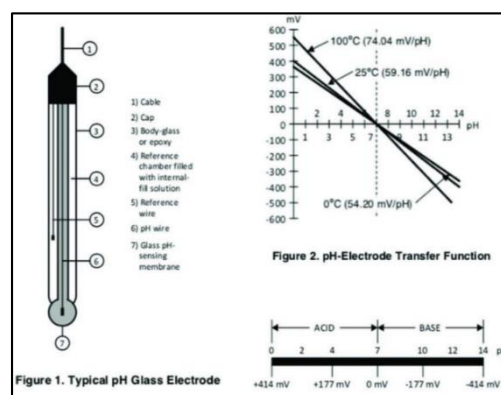


Figura 39. Sonda y detalles de la medida de pH
Fuente (E-Tinkers, 2019)

Una sonda de pH es un sensor pasivo. Produce una salida de voltaje lineal dependiente de la solución de pH medida. Una prueba ideal de pH produce 0V cuando el pH es de 7 y

produce un voltaje positivo cuando el pH decrece su valor y un voltaje negativo cuando el nivel de pH aumenta. La fuente de impedancia de la sonda de pH es muy alta porque el delgado vidrio del bulbo tiene una gran resistencia de $10\text{M}\Omega$ a $1000\text{M}\Omega$. El circuito de medición conectado requiere una impedancia muy alta para disminuir los efectos de la carga en el circuito.

Hardware del acondicionamiento de señal

EL circuito medidor de pH (ver Figura 40) presenta al integrado TLC4502 de alta impedancia en su operación de amplificación. Consiste en un divisor de voltaje con ganancia unitaria para amplificación. La salida de pH es análoga para su medición.

Es un amplificador inversor que aumenta diez veces la tensión que ingresa.

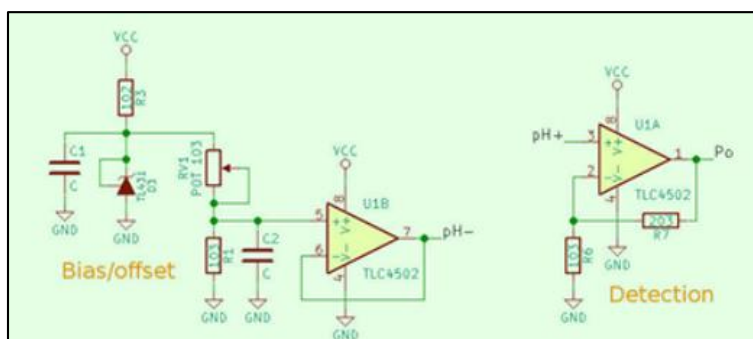


Figura 40. Circuito electrónico del acondicionador de señal
Fuente: (E-Tinkers, 2019)

En la Tabla 24 se especifica los detalles técnicos del sensor de pH.

Tabla 24.

Detalles técnicos de sensor pH

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Alimentación	5V
Tamaño del circuito	43mmx32mm
Rango de medición de pH	0-14
Precisión	$\pm 0.1\text{pH}$ (25 °C)
Tipo de conector	BNC
Tiempo de respuesta	$\leq 1\text{min}$
Exactitud	1 micro segundo

Nota: (GEEK FACTORY, s.f.)



Figura 41. Sensor de pH
Fuente: (GEEK FACTORY, s.f.)

3.6.1.7 DS18B20 sonda de temperatura

El sensor ds18B20 funciona con un protocolo creado por Dallas Semiconductor Corp conocido como 1-wire el cual permite comunicarnos a través de 1 solo pin de datos en una arquitectura de tipo bus con el sensor, aquello nos permite conectar más de un sensor en el mismo pin siendo el micro controlador un maestro y el resto de los sensores esclavos del mismo. Cada sensor tiene un código de identificación de 64 para identificarse en buses de datos.

Comunicación del sensor

Para iniciar la comunicación entre el maestro y el esclavo se envía una señal de reset de $480\mu\text{s}$ como mínimo de duración en nivel bajo. Los datos son enviados por pulsos y su duración varia según el binario que representan, $60\mu\text{s}$ corresponden a un 0 y $15\mu\text{s}$ a un 1, estos son enviados en paquetes de 8bits.

Funcionamiento

En su interior el sensor de temperatura cuenta con un circuito de alimentación parasita para ser conectada en modo de 2 conexiones en el que se alimenta desde la línea de comunicación con el maestro y abastece de la línea de comunicación, una memoria ROM que almacena el código de identificación del dispositivo, una memoria de intercambio denominada scratchpad que es aquella que almacena la configuración, un sensor de temperatura, 2 bloques de memoria

EEPROM configurables destinados a alarmas cada uno destinado a un límite, superior e inferior de la temperatura y un generador CRC(verificación por redundancia cíclica). Al recibir la orden desde el maestro el sensor de temperatura realiza la medición la cual es convertida a formato digital, la coherencia de este valor es revisada por el generador CRC. El tiempo de esta operación depende de la resolución la cual por defecto en el sensor DS18B20 es de 12 bit el cual acaba siendo de 750ms y enviado a través del bus de datos al maestro. La Figura 42 muestra el diagrama de bloques del funcionamiento.

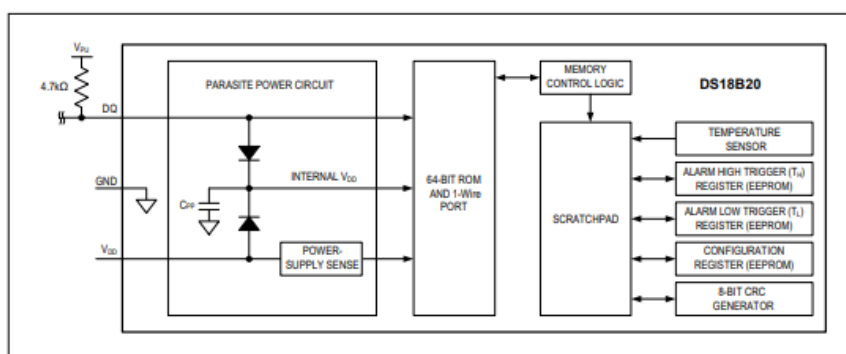


Figura 42. Diagrama de bloques funcionamiento
Fuente: (Maxim Integrated, 2019)

El sensor DS18B20 (ver Figura 43) realiza mediciones de temperaturas entre rangos superiores a -55°C e inferiores a 125°C . Debido a que es un sensor digital, la señal emitida no se degrada debido a la distancia del cableado y el Arduino UNO.

En la Tabla 25 especifica los detalles técnicos del sensor DS18B20 o sonda de temperatura.

Tabla 25.

Detalles técnicos de sonda de temperatura DS18B20

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Rango de temperatura	-55 a 125°C
Resolución	9 a 12 bits (configurable)
Interfaz	1-Wire (funcionamiento 1 pin)
Identificador interno único	64 bits
Precisión	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$)
Tiempo de captura inferior	750 ms
Alimentación	3.0V a 5.5V

Nota: (Electronilab, s.f.)



Figura 43. Sonda de temperatura DS18B20
Fuente: (Electronilab, s.f.)

3.6.1.8 *Display LCD 16x2*

Este adaptador es una pantalla LCD de 16x2 (ver Figura 46) ideal para utilización conjunta de microcontroladores y Arduino UNO. La pantalla posee iluminación de fondo azul con letras blancas. Igualmente, el chip controlador es común y no restrictivo, es decir, puede ser encontrado fácilmente en centros electrónicos, hasta fabricado con indumentaria mínima. Se puede usar con cualquier microcontrolador que posea al menos 6 pines disponibles.

Protocolo I2C

Es un protocolo de comunicación serial en el que se envía información por una sola vía creado por Philips Semiconductors en la década de los 80, I2C significa inter- integrated circuit. Trabaja En una arquitectura tipo bus en la que se utilizan 2 vías de comunicación (ver Figura 44), SCL encargado de la señal de reloj y SDA por medio del que viaja la información desde el maestro hacia el esclavo debido a esto podemos decir que este protocolo trabaja de forma sincrónica es decir que el envío de bits está sincronizado por la señal del SCL. Las velocidades de transmisión van desde 100Kbps a 5Mb por segundo con un máximo de 1008 esclavos.

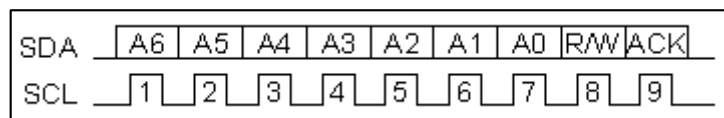


Figura 44. Trama de bits
Fuente: (Robots Didácticos, 2018)

La información viaja por medio de mensajes (ver Figura 45) divididos por tramas de datos las que a su vez llevan la dirección del esclavo al que va dirigido, el mensaje puede estar conformado por múltiples tramas las cuales están separadas por bit de confirmación “ACK” y de rectificación “NACK” todo el mensaje lleva como condición de inicio que el canal de comunicación cambie a un nivel de voltaje bajo antes de que el reloj cambie de alto a bajo y finaliza cuando el canal de comunicación cambia a un nivel alto después de que el reloj cambia de bajo a alto.

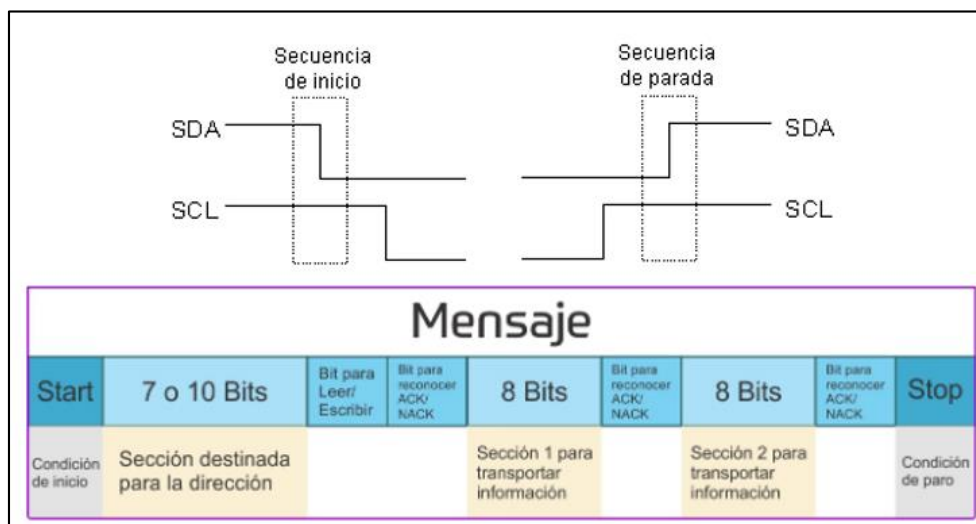


Figura 45. Protocolo I2C
Fuente: (Teslabem, 2017)

En la Tabla 26 se especifica los detalles técnicos del Display LCD 16x2.

Tabla 26.
Detalles técnicos de Display LCD 16x2

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Controlador	HD44780
Color	Fondo azul, letras blancas
Modo de operación	4 y 8Bits
Voltaje de operación	4.5-5.5 V

Nota: (GEEK FACTORY, s.f.)

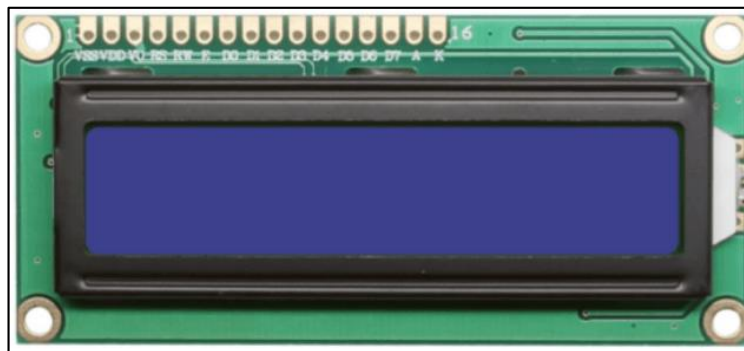


Figura 46. Display 16x2
Fuente: (GEEK FACTORY, s.f.)

3.6.1.9 Adaptador de pantalla LCD 16x2 Serial I2C

El adaptador LCD 16x2 Serial I2C PCF8574 (ver Figura 47) es un tipo de pantalla I2C que se conecta con el Arduino UNO usando únicamente 2 pines digitales (SDA y SCL). Este módulo requiere ser soldado en la parte posterior de la pantalla LCD asociada, o en caso contrario, también puede usarse sobre un protoboard si es que no se fuera necesario el montaje definitivo.

En la Tabla 27 se especifica los detalles técnicos del adaptador de pantalla LCD 16x2 Serial I2C.

Tabla 27.
Detalles técnicos de adaptador I2C

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Peso	0.005 kg
Dimensiones	4.8x1.4x1.8 cm
Expansor I/O	PCF8574
Cantidad de líneas	4
Compatible con LCD	16x2 o 20x4

Nota: (GEEK FACTORY, s.f.)

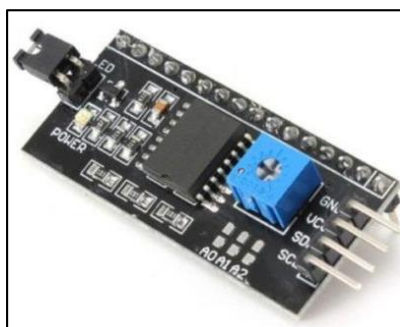


Figura 47. Adaptador I2C
Fuente: (GEEK FACTORY, s.f.)

3.6.1.10 Ra-02 Lora Module

El Ra-02 (ver Figura 48) es un módulo LoRa utilizado para la comunicación de amplio espectro de distancias ultra largas. Es compatible con la modulación y demodulación remota FSK (Frequency-shift keying), para resolver problemas inalámbricos que no puedan medir la distancia, la anti-interferencia y el consumo de energía. Ocasionalmente se usa para una variedad flexible de servicios inalámbricos, tales como medición y lectura automática de datos, domótica, seguridad de sistemas, entre otras. Ideal solución para la aplicación de redes inalámbricas asociadas al IoT.

En la Tabla 28 se especifica los detalles técnicos del módulo LoRa Ra-02.

Tabla 28.
Detalles técnicos de Ra-02 LoRa

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Modelo	Ra-02
Package	SMD-16
Tamaño	17x16x(3.2 ± 0.1)mm
Interfaz	SPI
Bit rate	≥300Kbps
Rango de frecuencia	410-525 MHz
Antena	IPEX
Potencia máxima de transmisión	18 ± 1 dBm
Alimentación	2.5-.3.7V estabilizar a 3.3V
Temperatura de trabajo	-30°C a 85°C
Peso	0.45g

Nota: (AI-THINKER, s.f.)

En la Tabla 29 se define la frecuencia y el Spread Factor junto a la sensibilidad del módulo LoRA Ra-02.

Tabla 29.
Frecuencia y Spread factor

Frequency	Spread Factor	SNR	Sensitivity
433MHz	7	-7	-125
	10	-15	-134
	12	-20	-141
470MHz	7	-7	-126
	10	-15	-135
	12	-20	-141

Nota: (AI-THINKER, s.f.)

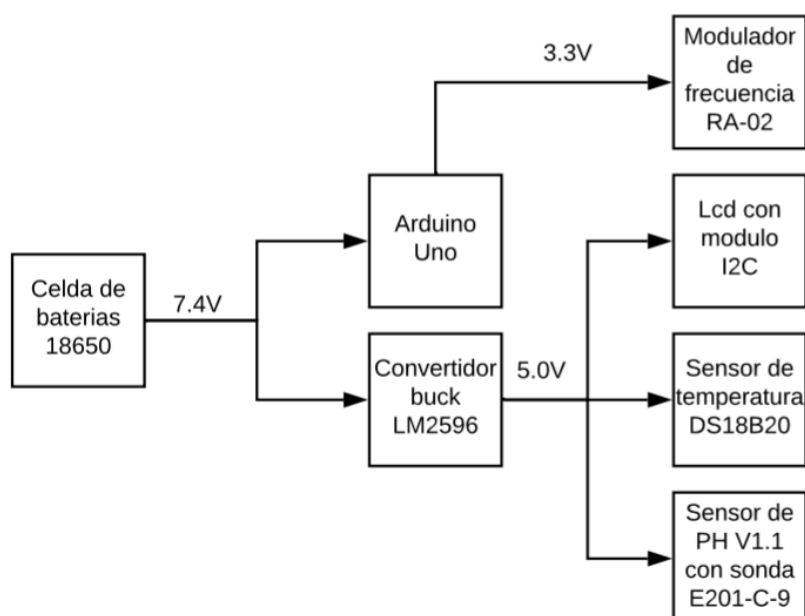


Figura 48. Ra-02 LoRA
Fuente: (AI-THINKER, s.f.)

3.6.1.11 Batería de Litio

La batería de litio (ver Figura 49) es un tipo de batería caracterizada por su carga rápida, amplia duración y vida útil, debido a su alta densidad energética. En el caso de Arduino UNO este tipo de batería en conjunto con un adaptador DC-DC provee de energía para el funcionamiento de los chips integrados y los microcontroladores asociados

En la Tabla 30 se especifica los detalles técnicos de la Batería de Litio asociada al conjunto de módulos.



Para hacer el cálculo de la batería se requirió conocer el consumo de corriente de todos los componentes. En el apartado de Resultados y Evaluaciones se encuentra los cálculos para la batería.

Tabla 30.
Detalles técnicos de la Batería de Litio

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Test current (A)	0.2
Measured capacity (Ah)	2.225
Measured energy (Wh)	8.192
PCB protection trip current (A)	NA
Calculated internal resistance	0.4

Nota: (Equimarkets, s.f.)



Figura 49. Batería de Litio
Fuente: (Equimarkets, s.f.)

3.6.1.12 Módulo LM2596 DC-DC

Es un módulo reductor de voltaje de continua a continua con una eficiencia del 92% que se encarga de alimentar los sensores de los nodos (ver Figura 50).

En la Tabla 31 se especifica los detalles técnicos del Módulo LM2596 DC-DC.

Tabla 31.

Detalle técnico del módulo reductor

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Voltaje de entrada	+4 a 40vdc
Voltaje de salidad	+1.23 a 35vdc
Corriente de salida	2A

Nota: (TPElectronic, s.f.)

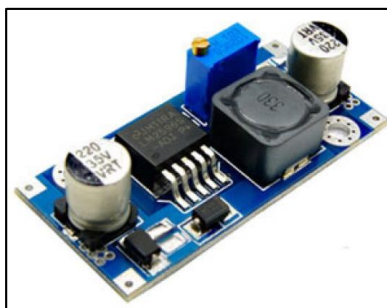


Figura 50. Fuente reductora LM2596
Fuente: (TPElectronic, s.f.)

3.6.1.13 Antena Omnidireccional 433 MHz

Es un terminal capaz de radiar energía en toda dirección (ver Figura 51).

En la Tabla 32 se especifica los detalles técnicos de la Antena Omnidireccional de 433 MHz.

Tabla 32.

Detalles técnicos de Antena 433MHz

Especificaciones Técnicas	Característica/Valor
Effi	51.76%
Gain	3.43 dBi
Return Loss	<-5
Frecuencia	410-525 MHz
Longitud	11 cm

Nota: (DRAGINO, s.f.)



Figura 51. Antena 433MHz
Fuente: (DRAGINO, s.f.)

3.6.2 Software para el sistema de monitoreo

El presente proyecto hará uso del software descrito en la Tabla 33 adjunta.

Tabla 33.

Software del sistema de monitoreo

Nombre	Descripción
LoRaWAN Network	Interfaz para configuración y testeo de Gateway LG01-N
Arduino 1.8.9	Software de código abierto que facilita la producción de código y su descarga en los equipos Arduino.
The Things Network (TTN)	Nube de uso público para almacenamiento y minado de datos.
Thingspeak	Plataforma de Internet de las cosas para recoger y almacenar datos.
LoRa - MQTT	Protocolo soportado por TTN para transporte de mensajes cliente/servidor
PuTTY Configuration	Permite conexión remota con el Gateway a través de comandos LINUX
AppInventor	Plataforma para generar aplicaciones de celular a través de distintos tipos de código de programación.

Nota: Autoría propia

3.6.2.1 LoRaWan Network

Interfaz de acceso para configuración del gateway LG01-N con posibilidad de regulación en rango de frecuencia, spread factor y protocolo de comunicación IoT (ver Figura 52).



The screenshot shows the 'LoRa Gateway Settings' page for a device named 'dragino-146d78'. The page has a navigation bar with links for Status, Sensor, System, Network, and Logout. The main heading is 'LoRa Gateway Settings' with a subtitle 'Configuration to communicate with LoRa devices and LoRaWAN server'. Under the 'LoRaWAN Server Settings' section, there are several input fields: 'Server Address' (containing 'router.eu.thethings.network'), 'Server Port' (containing '1700'), 'Gateway ID' (containing 'a84041168f24ffff'), 'Mail Address' (containing 'edwin@dragino.com'), 'Latitude' (containing 'Location Info'), and 'Longitude' (containing 'Location Info'). The first three fields are highlighted with red rectangular boxes.

Figura 52. LoRaWAN Network
Fuente: (DRAGINO, s.f.)

3.6.2.2 Arduino 1.8.9

Software de código abierto (IDE) para el desarrollo de programación y posterior descarga en el integrado. Libre uso en placas de la familia Arduino (ver Figura 53).



Figura 53. Arduino 1.8.9
Fuente: (Arduino, s.f.)

3.6.2.3 *Plataforma Open Source ThingSpeak*

Plataforma web estándar que permite interactuar con los dispositivos del IoT. Es un servicio gratuito que facilita a los desarrolladores en el registro, procesado y distribución de la información (ver Figura 54).



Figura 54. Ícono de ThingSpeak
Fuente: (Think Speak, s.f.)

3.6.2.4 *LoRa-MQTT*

Protocolo simple y ligero para la mensajería, publicación y suscripción de dispositivos conectados para aplicaciones móviles. De especial aplicación en dispositivos con redes de bajo ancho de banda, alto retardo y con baja seguridad (ver Figura 55).



Figura 55. Lora-MQTT
Fuente: (LoRa Alliance, s.f.)

3.6.2.5 *Putty Configuration*

Cliente SSH y Telnet que permite al usuario conectarse remotamente a servidores para ejecutar comandos (ver Figura 56).

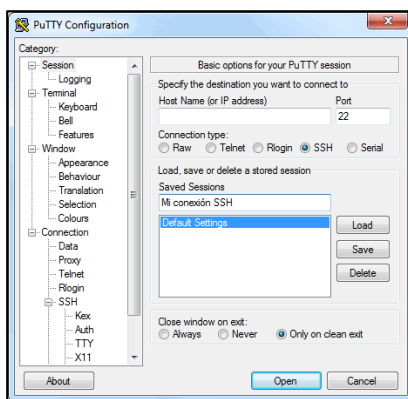


Figura 56. Programa Putty
Fuente: (Putty, s.f.)

3.6.2.6 *APP Inventor*

Permite el desarrollo de software a partir de herramientas básicas como bloques de programación enlazados en estructuras lógicas bajo jerarquías. Fue desarrollado por Google Labs y se usa desde la web de la MIT. En la Figura 57 se observa su logo característico.

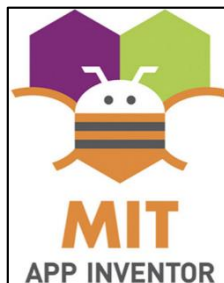


Figura 57. Logo de APP Inventor
Fuente: (APP Inventor, s.f.)

Capítulo 4

Desarrollo de la solución

El sistema de monitoreo desarrollado integra el conjunto de soluciones de IoT (Internet of Things). Para su diseño se aplicó tecnologías de radio digital que años atrás se utilizaban para fines militares, pero que en la actualidad se encuentran masificadas para uso civil en las redes de largo alcance y baja potencia (LPWAN). Esta tecnología resultó apropiada bajo los requerimientos de la problemática en cuestión en cuanto a radio de cobertura y acceso a Internet se refiere (Programa PRADERA). Entonces, para recalcar, se presentó la necesidad dentro de una comunidad alto andina de limitada cobertura de Internet para el continuo desplazamiento de un insumo entre las zonas productoras hasta los centros de acopio. Razones suficientes para proponer el uso de tecnologías inalámbricas. Si bien existen diferentes alternativas dentro de las redes LPWAN, se optó por trabajar con la tecnología LoRa por sus diferentes bondades, ya explicadas con anterioridad.

El módulo consiste en un dispositivo electrónico modulador de frecuencia Ra-02 conectado al microcontrolador ATMEGA328, el cual recibe información de tres sensores: pH, localización y temperatura. Toda la información transmitida por el nodo la recibe el Gateway LG01-N que se encuentra conectado al Internet por señal WiFi. La información del Gateway se envía simultáneamente al servidor público Thing Speak para su traducción y a la plataforma educativa de MIT App Inventor para la visualización de la información mediante un aplicativo móvil.

Para implementar el sistema de monitoreo se partió con la siguiente organización de tareas detalladas en la Tabla 34:

Tabla 34.
Fases y tareas del proyecto

Nombre	Fase	Tarea
Preparación del dispositivo	Software para el dispositivo como nodo	Instalar Arduino IDE y driver CH340
		Instalar librerías LoRa
	Configuración del gateway LG01-N	Configurar conexión a internet
		Descargar herramienta putty
		Acceder visa SSH al gateway
Prueba con MQTT IoT Server	Tipología y flujo de datos	
	Configuración de sensor con canales en Thing Speak	
	Configuración gateway LG01-N	Creación de canal en Thing Speak
		Ingreso de valores en los parámetros del servidor MQTT
	Programación en el microcontrolador	

Nota: Autoría propia

4.1 Preparación del dispositivo

4.1.1 Software para el dispositivo como nodo

Se instaló el software Arduino1.8.6, principal herramienta para el desarrollo de la programación. Así también, se verificó la existencia del driver CH340 en la computadora. Este es muy importante porque permite el reconocimiento de la tarjeta Arduino (ver Figura 58).

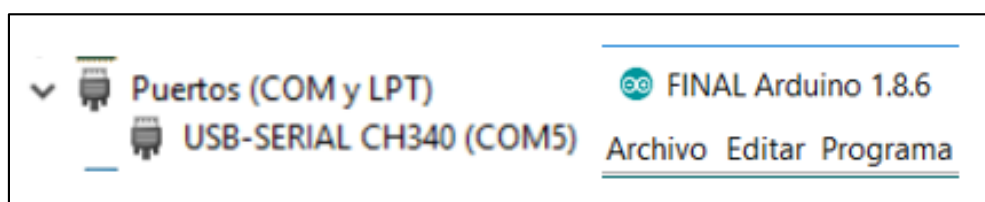


Figura 58. Puerto CH340 y Arduino
Fuente: Autoría propia

Se procede a instalar las siguientes librerías LoRa adaptadas para Arduino (ver la Tabla 35 adjunta).

4.1.3 Logros en la primera fase

Satisfactoriamente se logró conectar el Gateway LG01-N al internet así también por medio de la herramienta de SSH Putty se consiguió ingresar remotamente a la plataforma Linux.

4.2 Prueba con MQTT IoT Server

4.2.1 Tipología y flujo de datos

El desarrollo consiste en comunicar los nodos de forma direccional con el Gateway a través del enlace LoRa y el Gateway con el servidor por el protocolo MQTT que es reconocido por el servidor uso público Thing Speak.

4.2.2 Configuración de sensor con canales en Thing Speak

En el servidor se crea un canal definiendo las variables a recibir. Al hacerlo se desplegará códigos como el MQTT API KEY, channel id y el nombre del autor. Todo eso se dispondrá en el código para el reconocimiento del canal de comunicación (ver Figura 61).

MathWorks Account Email	libia.romero@tecsup.edu.pe	
User ID	libiaromero	
Password	*****	
Edit MathWorks Account Settings		
Edit MathWorks Community Information		
ThingSpeak Settings		
Time Zone	UTC	Edit
User API Key	QUWECXDOZGF5PXGI	Refresh
MQTT API Key	YVYXF7M8WwAMYDSI	Refresh

Figura 61. Url de información dentro del canal
Fuente: Autoría propia

4.2.3 Configuración gateway LG01-N

En la plataforma de LoRaWAN se cambia al protocolo de comunicación MQTT y se pone a prueba la comunicación.

Escoger el servicio de IoT en la configuración del Gateway es esencial para definir el protocolo de comunicación digital con ThingSpeak. Ya dentro de la plataforma web del dispositivo, en la opción “LoraWAN Gateway” se alojan diversas pestañas para definir los enlaces de comunicación además de información característica del equipo como ID y puerto de servicio. También allí se encuentran opciones para regular el radio de cobertura en frecuencia, factor de difusión, tasa de codificación, y ancho de banda de señal.

En la Figura 62 puede apreciarse el servicio de IoT.



Figura 62. Servicio de IoT
Fuente: Autoría propia

Conociendo las limitaciones en radio de cobertura del Gateway y con conceptos claros de la tecnología de modulación de LoRa se escogen valores para una modulación de frecuencia adecuada que habilite la comunicación. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Frecuencia: Valor determinado por el proveedor de la tecnología así también el Gateway. Nodo y Gateway deberán contar con la misma frecuencia de transmisión.
- Spread Factor: valor que depende de la distancia a transmitir la información, es decir que para cubrir mayores distancias de comunicación se deberá emplear un spread

factor cercano o igual al valor de 12 y para menores distancias su valor tendrá a ser cercano o igual a 7. Se deberá tener en cuenta que para valores cercanos a 12 la cantidad de información enviada será reducida y para valores cercanos a 7 la cantidad de información enviada será mayor.

- Coding rate: es un valor para la corrección de errores, por ejemplo se fuera 4/5 solo se contaría con una pequeña tasa de corrección de errores por otro lado si este fuera de 4/8 se contaría con una mayor tasa de corrección de errores siendo el doble de la información enviada.
- Bandwith: Es el ancho de banda que facilita en envío de información en el canal de transmisión mientras mayor sea su valor mayor cantidad de data podrá ser enviada.

A continuación, en la Figura 63 se muestra la relación distancia de cobertura con los factores ya descritos líneas arriba:

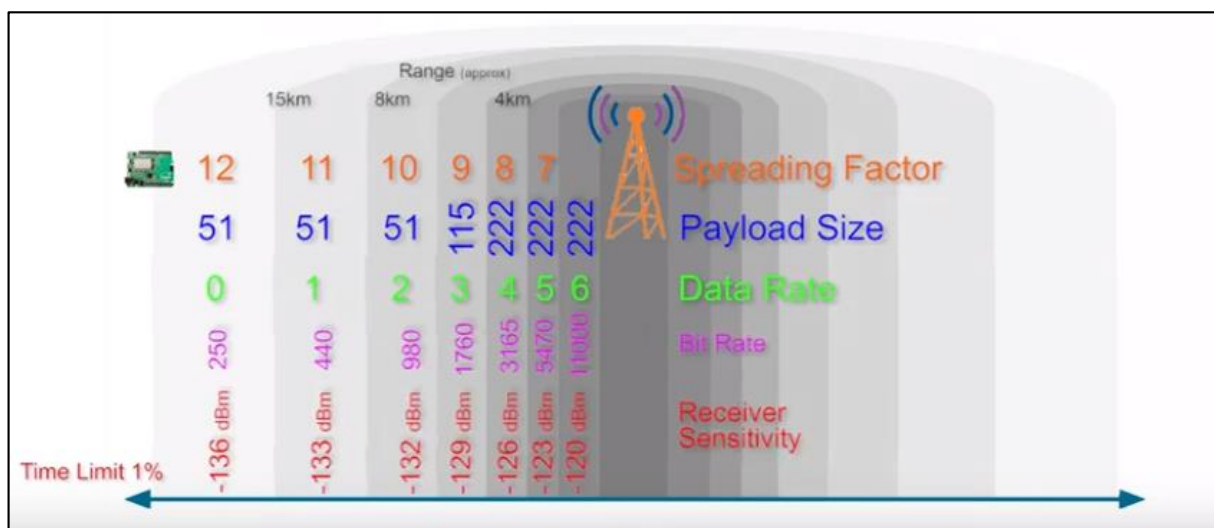


Figura 63. Vista gráfica de spreading factor
Fuente: (Wenner, 2017)

Entonces los valores ideales para una distancia alrededor de los 5km son:

SF: 8

Signal Bandwith: 125 kHz

Data Rate: 4 (para la solución se escogió 1 para evitar consumir rápidamente la batería)

Frequency: 505300000 (determinada por el proveedor de la tecnología)

En la Figura 64 se verifica los valores ideales del Radio Settings.

Radio Settings

Radio settings for Channel

Frequency (Unit:Hz)

Spreading Factor

Coding Rate

Signal Bandwidth

Preamble Length
 ⓘ Length range: 6 ~ 65536

LoRa Sync Word
 ⓘ Value 52(0x34) for LoRaWAN

Encryption Key

Figura 64. Configuración de radio de cobertura
Fuente: Autoría propia

4.2.3.1 Creación de canal en ThingSpeak

Al validar los cambios en la librería con iguales valores definidos en el Gateway, se ingresa a la plataforma ThingSpeak donde se extrae los identificadores del canal que alojará los datos transmitidos durante la comunicación (ver Figura 65 y 66).

TANQUE PRIMER

ID de canal: **923563** | UTILICÉ MQTT

Autor: **libiaromero**
Acceso: público

Vista privada | **Vista pública** | Configuraciones de canal | Compartir | Claves API | Importación / Exportación de datos

+ Agregar visualizaciones | + Agregar widgets | **Análisis** | **MATLAB Visualización MATLAB**

☒ Exportar datos recientes

Canal 3 de 4 < >

Estadísticas del canal

Creado: hace aproximadamente un mes
Última entrada: hace aproximadamente 7 horas
Entradas: 878

Figura 65. Canal creado en ThingSpeak
Fuente: Autoría propia

Autor: **libiaromero**
Acceso: público

Vista privada | **Vista pública** | **Configuraciones de canal** | Compartir | C

Configuraciones de canal

Porcentaje completo 50%

Canal ID 923563

Nombre

Descripción

Campo 1 ☒

Campo 2 ☒

Campo 3 ☒

Campo 4 ☒

Figura 66. Creación de variables en ThingSpeak
Fuente: Autoría propia

El canal presenta códigos para ID, MQTT API Key, Read API Key y nombre del autor, toda esa información debe ser anotada para su posterior ingreso dentro de la configuración del servicio MQTT habilitado en la plataforma del Gateway (ver Figura 67).

Figura 67. Códigos de Thing Speak para MQTT
Fuente: Autoría propia

4.2.3.2 Ingreso de valores en los parámetros del servidor MQTT

Al interior de la pestaña de servicios se aloja la opción MQTT en ella se configura el enlace de comunicación. Los pasos a seguir comienzan con escoger el servidor donde se almacenarán los datos recibidos, para nuestra solución es Thing Speak. Como ya se cuenta con canal activo se extrae la información del creador u autor las demás alternativas no serán actualizadas, permanecerán tal cual fueron predeterminadas (ver Figura 68).

Figura 68. Servidor MQTT en LoRaWAN
Fuente: Autoría propia

Ahora ya escogidas las alternativas, se procede a configurar el canal MQTT, se da clic en el botón añadir, automáticamente la pantalla se redireccionará a la interfaz con nombre “Canales

de sensores” en esta se ingresa los valores característicos del canal de Thing Speak: código de identificación del canal, ID de canal remoto y la clave API.

En la Figura 69 puede apreciarse el canal de sensores.

The screenshot shows a web interface for a device named 'dragino-1cfa08'. The top navigation bar includes links for 'Estado', 'Sistema', 'Red', 'Servicio', and 'Cerrar sesión'. The main heading is 'Canales de sensores' with a subtitle 'Cómo el canal local coincide con el canal remoto'. Below this, there are three input fields: 'ID de canal local' containing '5678', 'ID de canal remoto' containing '923563', and 'Escribir clave API' containing 'NN8X9BXGV7NY1RTU'. At the bottom of the form are four buttons: 'Volver a la vista general' (grey), 'Guardar y aplicar' (blue), 'Guardar' (green), and 'Restablecer' (red).

Figura 69. Canal de sensores
Fuente: Autoría propia

4.2.4 Programación en el microcontrolador

Para comprender la programación aplicada en el desarrollo de la solución se requiere analizar el diagrama de flujo presente en la Figura 70, el cual menciona y ordena las principales actividades del proceso durante la medición de magnitudes y su posterior envío de datos. Este diagrama de flujo es útil y necesario para comprender la lógica de la solución del problema y entender a través de una descripción textual el flujo de su ejecución.

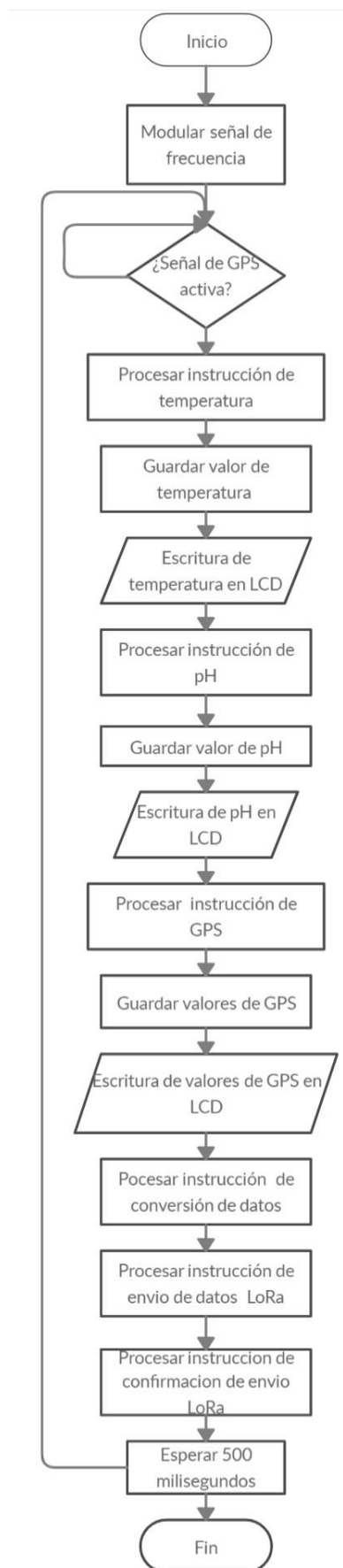


Figura 70. Diagrama de flujo de la programación en el microcontrolador
Fuente: Autoría propia

Seguido se explican los bloques de tareas:

- ❖ Modular señal de frecuencia: sentencias de instrucciones parte del Void Setup que configuran el modulador de frecuencia RA-02. Se definen los valores para la frecuencia, spreading factor y ancho de banda.
- ❖ Señal de GPS activa: sentencia condicional para evaluar la activación de GPS, el no cumplimiento de la condición impide la ejecución del resto de código.
- ❖ Procesar instrucción de temperatura: función de programación con nombre temperaturaread. Entre sus tareas se encuentran la medición, acondicionamiento, retención temporal en variable y proyección de valor en pantalla LCD.
- ❖ Procesar instrucción de pH: bloque de función con nombre peachiread, permite la medición de pH esto lo realiza con el promedio de la lectura analógica de los ocho mayores valores de muestras. Presenta líneas de códigos para el escalamiento de la señal de tensión, ecuación de pH, retención temporal de valor y proyección de data en pantalla LCD.
- ❖ Procesar instrucción de GPS: bloque de función gpsread donde se ejecutan los comandos para localización en latitud y longitud. Estos dos valores se almacenan y proyectan en la pantalla display LCD.
- ❖ Procesar instrucción de conversión de datos: bloque de función donde se convierten a tipo de dato string las variables de temperatura, pH, latitud y longitud.
- ❖ Procesar instrucción de envío de datos LoRa: bloque de función encargado de enviar los paquetes de datos.
- ❖ Procesar instrucción de confirmación de envío LoRa: bloque de función con códigos de verificación de recepción de paquetes de datos.

La información explicada en los puntos anteriores facilita la comprensión de la programación. Seguido el código procede a explicarse. Se da uso de un total de siete librerías

dos para la comunicación LoRaWAN estas son SPI y LoRa, para la programación del GPS se necesita de TinyGPS para las coordenadas de ubicación y SoftwareSerial para el envío de datos hacia el microcontrolador, el sensor de temperatura utiliza las librerías OneWire y DallasTemperature para la escalabilidad de la señal analógica detectada y por último la pantalla display utiliza un circuito adaptador del protocolo I2C por ello se da uso de LiquidCrystal, al hacerlo ya solo se necesita 4 pines para controlar la interfaz de visualización.

```
#include <SPI.h>

#include <LoRa.h>

#include <TinyGPS++.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

int RXPin = 3;

int TXPin = 4;

TinyGPSPplus gps;

OneWire ourWire1(A1);

DallasTemperature sensor1(&ourWire1);

SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);
```

Los fragmentos de código que identifican el nodo se encuentran declarados como variables globales tipo carácter. En ambos nodos tienen el nombre node_id pero su identificador cambia, para el nodo rojo viene a ser 8379 y para el nodo amarillo es 5678.

```
char *node_id = "<8379>"; // para el nodo rojo
char *node_id = "<5678>"; // para el nodo amarillo
```

Un fragmento de la programación define la frecuencia, spread factor y bandwidth con valores iguales a los ya ingresados al radio de cobertura del Gateway.

```
while (!Serial);

Serial.println("LoRa Sender");

if (!LoRa.begin(505300000))
{
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
  while (1); }

LoRa.setSpreadingFactor(8);

LoRa.setSignalBandwidth(125000);

LoRa.setCodingRate4(5);

LoRa.setSyncWord(0x34);

Serial.println("LoRa init succeeded.");

LoRa.onReceive(onReceive);

LoRa.receive();
```

Para la comunicación con Thing Speak se necesita definir la variable del canal donde se proyectará la información recibida y transmitida en el canal de comunicación.

```

void informacionwrite()
{
    char data[80] = "\0";

    for(int i = 0; i < 80; i++)
    {
        data[i] = node_id[i];
    }

    dtostrf(CorrectedValue,0,1,tempera_1);

    dtostrf(peachimetro,0,2,peachim_1);

    dtostrf(gpsvalorlat,0,3,gps_1);

    dtostrf(gpsvalorlng,0,3,gps_2);

    strcat(data,"field1=");

    strcat(data,tempera_1);

    strcat(data,"&field2=");

    strcat(data,peachim_1);

    strcat(data,"&field3=");

    strcat(data,gps_1);

    strcat(data,"&field4=");

    strcat(data,gps_2);

    strcpy((char *)datasend,data);
}

```

Siendo elaborado el mensaje [-m] con los comandos presentes en la figura 67 se procede a enviar la información con apoyo de la librería LoRa que se encarga de modular la frecuencia en pulsos transportando paquetes de datos en cadena de caracteres. Recibida la información por el Gateway, este reconoce al nodo por su identificador numérico y lo enlaza con su respectivo canal en Thing Speak procediendo a llenar los campos del canal con la información. En figura 68 se muestra los comandos encargados de enviar los paquetes de datos por medio de pulsos utilizando la tecnología LoRa.

```
void SendData()

{   LoRa.beginPacket();

    LoRa.print((char *)datasend);

    LoRa.endPacket();

    Serial.println("Packet Sent");

}
```

4.3 Diseño de tarjeta electrónica

El motivo de diseñar una tarjeta electrónica es de desarrollar un prototipo implementado sin la necesidad de usar de un protoboard. El cual vulnera la estabilidad y buen funcionamiento del sistema además de restarle solidez al equipo. Las evaluaciones y resultados del funcionamiento del prototipo se encuentran en el capítulo 5 de Resultados y Evaluaciones.

El siguiente diseño esquemático es el de una Shield de Arduino destinada para el sistema de monitoreo. Utiliza el modulo Ra-02 de AI-Thinker a una frecuencia de 433MHz, regulador de tensión de 3.3V para la alimentación del modulador de frecuencia, resistencias y borneras para la conexión de los sensores.

En la Figura 71 puede apreciarse el diagrama esquemático del nodo en el sistema de monitoreo.

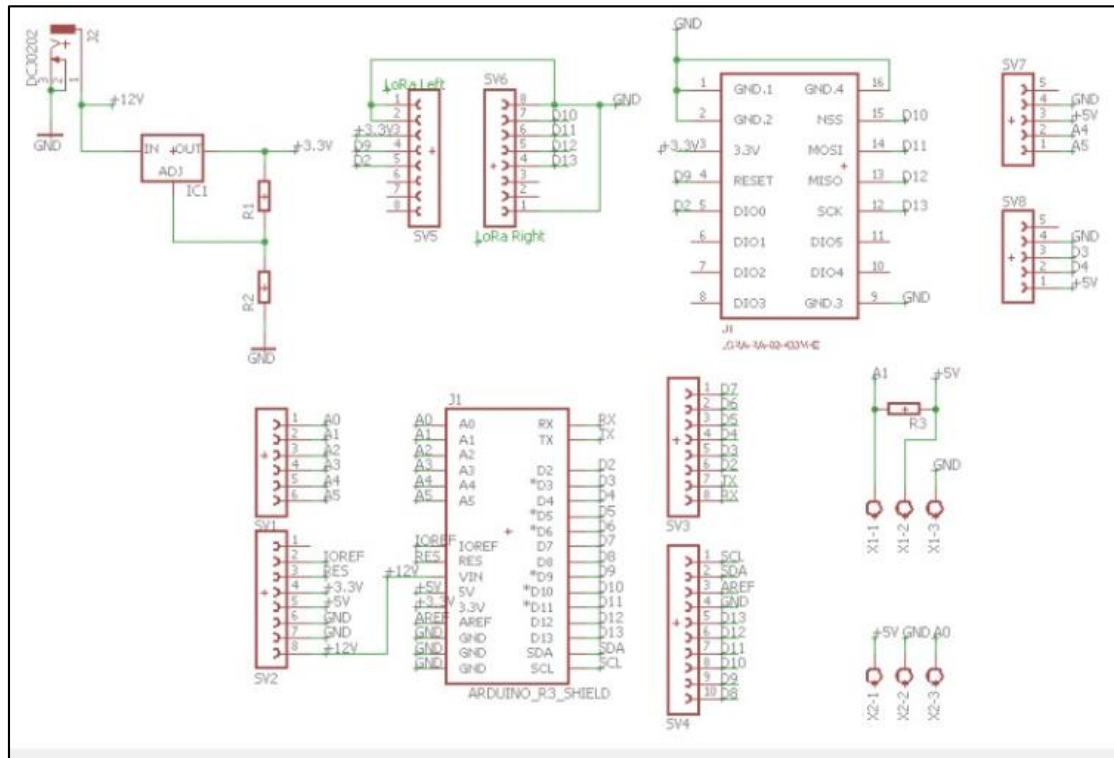


Figura 71. Esquemático de nodo en el sistema de monitoreo

Fuente: Autoría propia

Para el modulador Ra-02 se diseñó el componente digital con sus tres elementos Device, Package y Symbol. A continuación, en la imagen 66 se detalla con imágenes las tres diferentes formas del integrado para su desarrollo en Eagle (ver Figura 72).

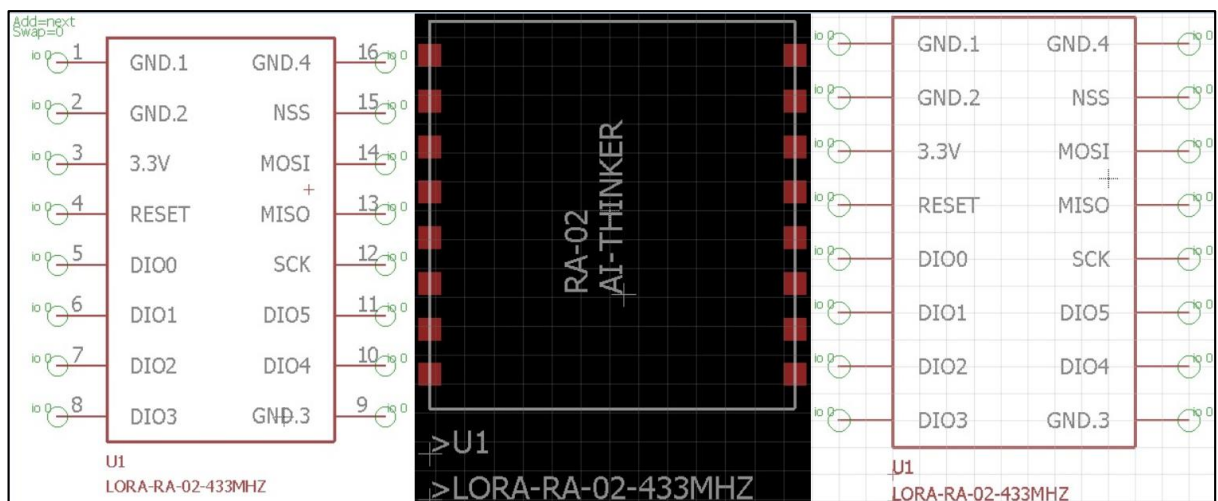


Figura 72. Diseño de Ra-02 en Eagle

Fuente: Autoría propia

A continuación, la Tabla 36 enlista los componentes utilizados en diagrama esquemático. Muchos de los componentes se obtuvieron de GitHub así también se diseñaron como fue el caso del dispositivo Ra-.02.

Tabla 36.
Lista de componentes extraídos de Eagle

Part	Device	Package	Description
IC1	LM317TS	317TS	VOLTAGE REGULATOR
J1	ARDUINO_R3_SHIELD	UNO_R3_SHIELD	Shield compatible Arduino
J2	DCJ0202	DCJ0202	DC POWER JACK
R1	R-EU_0204/7	0204/7	RESISTOR
R2	R-EU_0204/7	0204/7	RESISTOR,
R3	R-EU_0204/7	0204/7	RESISTOR
SV1	FE06-1	FE06	FEMALE HEADER
SV2	FE08-1	FE08	FEMALE HEADER
SV3	FE08-1	FE08	FEMALE HEADER
SV4	FE10-1	FE10	FEMALE HEADER
SV5	FE08-1	FE08	FEMALE HEADER
SV6	FE08-1	FE08	FEMALE HEADER
SV7	FE05-1	FE05-1	FEMALE HEADER
SV8	FE05-1	FE05-1	FEMALE HEADER
U\$1	SX1278	SMD-16-16X17	
X1	AK300/3	AK300/3	CONNECTOR
X2	AK300/3	AK300/3	CONNECTOR
IC1	LM317TS	317TS	VOLTAGE REGULATOR

Nota: Autoría propia

En la Figura 73 puede apreciarse el layout de la tarjeta electrónica.

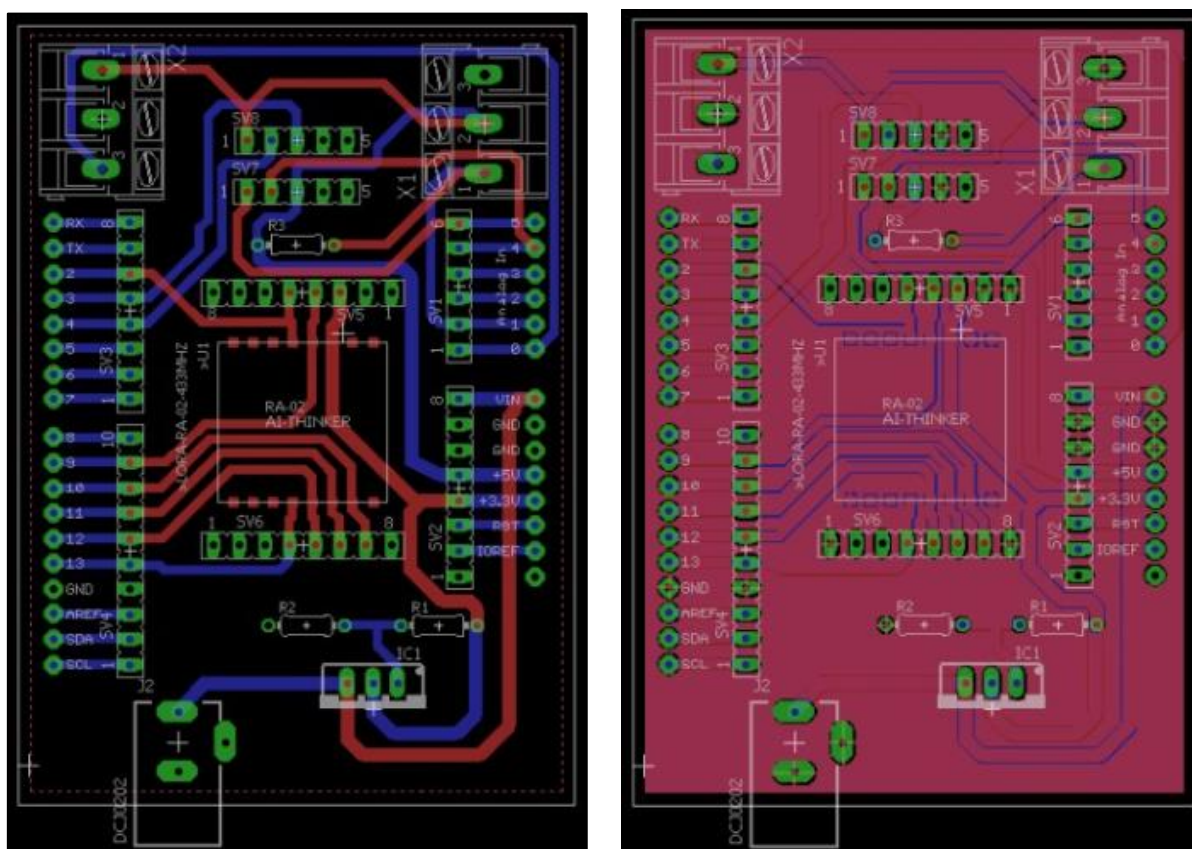


Figura 73. Layout de la tarjeta electrónica

Fuente: Autoría propia

4.4 Aplicación desarrollada en App Inventor

Para mejorar la visualización de la información a través de aplicativos móviles se diseñó una aplicación android donde figure los datos de los sensores y la ubicación de cada nodo del sistema de monitoreo.

Para ello se aplicó bloques de programación condicionales if, Do While, enlace web, arreglos verticales y horizontales, etiquetas de salida de información, botones para cambio entre pantallas, mapa de ubicación con facilidad de zoom y giro, punteros de ubicación.

Ello se logró a través de código json generado por la plataforma Thing Speak con una frecuencia de actualización aproximada de 30 segundos.

Para acceder a la información almacenada en el servidor se debe configurar al canal como acceso público y escribir código json para obtener la última actualización de los valores recibidos. Un ejemplo es el código mostrado a continuación:

`https://api.thingspeak.com/channels/987410/feeds/last.json?api_key=VKXP8NQODT00L2KC&status=true`

En él se define el código del canal, last.json para el último envío de data, y apikey para indicar si es de lectura o escritura, en este caso de lectura.

Las siguientes imágenes de la Figura 74 muestran las dos pantallas de la aplicación android con nombre “Monitoring”.

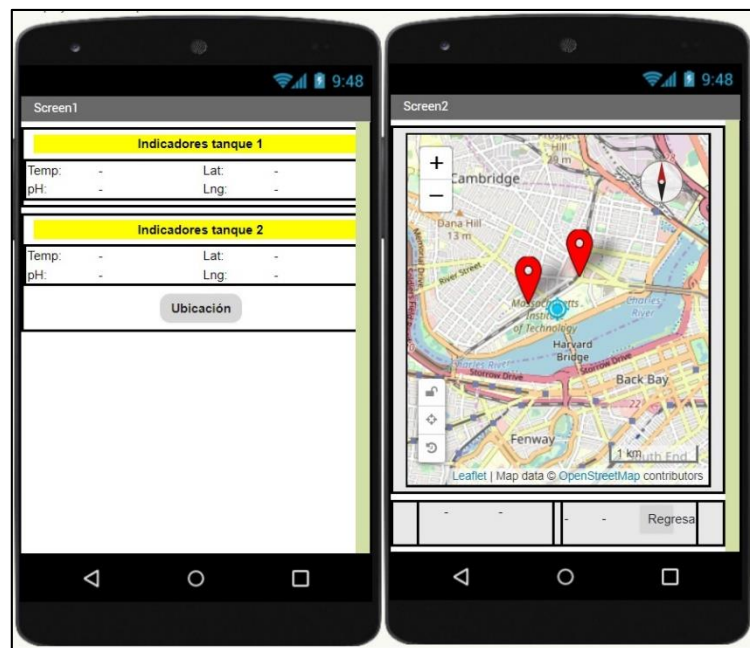


Figura 74. Pantallas de aplicación Monitoring
Fuente: Autoría propia

La programación de estas dos pantallas se encontrará en los apéndices.

Capítulo 5

Resultados y evaluación del sistema

Este proyecto factible fue propuesto para comunidades alto andinas ubicadas en planicies y áreas de poca extensión con vías rurales de longitudes 3 a 5 km donde se localiza una incipiente producción y acarreo de leche. Del mismo modo, también se encuentra dirigido a microempresas del rubro lácteo con bajos estándares de calidad.

La propuesta desarrollada en este proyecto se adapta a las características y necesidades del medio. La Figura 75 muestra la imagen del Dev-Kit LoRaWAN fabricado por la empresa Dragino. Este fue empleado en el desarrollo de la solución.



Figura 75. Dev-Kit Dragino
Fuente: (DRAGINO, s.f.)

5.1 Calibración de los sensores

Para calibrar los sensores se deberá tener en cuenta ciertos parámetros dependiendo del sensor a usar.

5.1.1 Sensor de pH

Para la calibración del sensor de pH se procedió con la compra de soluciones buffer de pH 4.01 y 6.86 a 25°C para una solución de 250ml de agua desionizada. A continuación, la Figura 76 muestra las dos soluciones usadas en el proceso de calibración.



Figura 76. Soluciones Buffer
Fuente: Autoría propia

Para la calibración se realizó un cortocircuito en el terminal positivo y negativo de la salida en el cable coaxial. Con apoyo del multímetro con medida de tensión continua se conectó en el terminal PO y GND. Realizadas las conexiones se reguló el potenciómetro cercano a los terminales del módulo en búsqueda del valor 2.5V que representa un pH de 7.

En dos recipientes de vidrio se logró disolver las soluciones de pH con 250ml de agua destilada. En la figura 77 se observa parte del proceso de dilución de Buffers.



Figura 77. Dilución de Buffers
Fuente: Autoría propia

A continuación, se retiraron todas las conexiones en el cable coaxial y se dejó conectado en los extremos de los terminales PO y GND el multímetro. Luego, con la sonda ya instalada se sumergió en las soluciones de Buffer y se anotaron los valores de tensión obtenidos para utilizarlos en la generación de una recta que nos entregaron los valores para la ecuación necesaria en la programación. En la Figura 78 se visualiza la ecuación de la recta de pH.

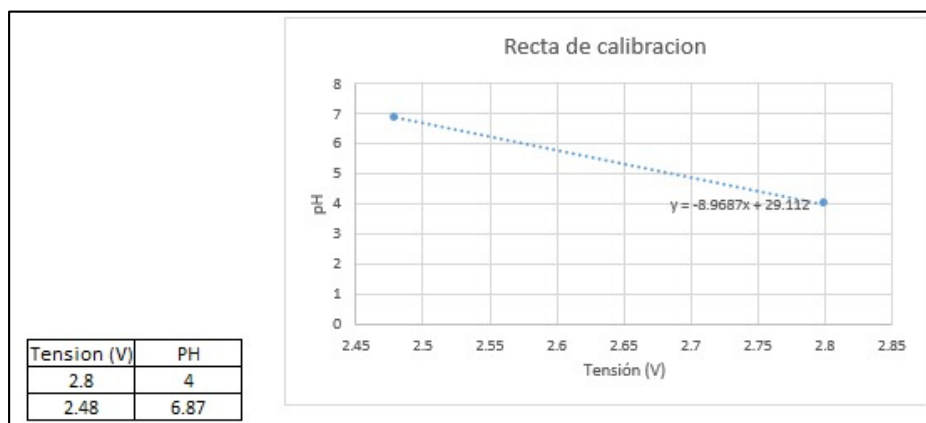


Figura 78. Recta de calibración de pH
Fuente: Autoría propia

Ya obtenida la ecuación se procedió a ingresarla en la programación de la solución y con ello se desarrollaron las pruebas de medición. Como lo muestra la Figura 79 el sensor se calibró correctamente para una medida de 4.01 en pH.



Figura 79. Valor de pH 4
Fuente: Autoría propia

Ya probado el valor de 4 en pH se procedió a validar la solución de pH 6.86 (ver Figura 80). En suma, se logró calibrar el sensor, prueba de ello son los valores mostrados en el Display para cada solución buffer.



Figura 80. Valor de pH 6
Fuente: Autoría propia

5.2 Pruebas en el distrito de Pueblo Libre

En la Figura 81 se visualiza la ubicación de los nodos A y B donde se registró valores de pH, temperatura y GPS más no desplazamiento por validación del enlace de comunicación con los sensores. La validación se encuentra desde la Tabla 30 hasta la 37.



Figura 81. Ubicación de la estación de prueba de los nodos A y B, distrito de Pueblo Libre
Fuente: Autoría propia

El esquema presente en la Figura 82 expone los diferentes equipos y dispositivos aplicados durante la puesta en marcha de la solución en los alrededores de la avenida La Mar. Los nodos se les nombran por nodo A y nodo B.

El prototipo físico utilizó un módulo Arduino UNO para la conexión, censado y procesamiento de los datos recopilados durante el proceso de evaluación y un circuito integrado RW98 acoplado a un Shield LoRA para la comunicación del nodo con el Gateway.

Luego de ser procesados los datos por el Arduino UNO, la información es enviada a través del Gateway a un servidor público, el cual los grafica y almacena en una interfaz de visualización. Cada nodo presentó cuatro gráficos: temperatura, valor de pH, altitud y latitud.

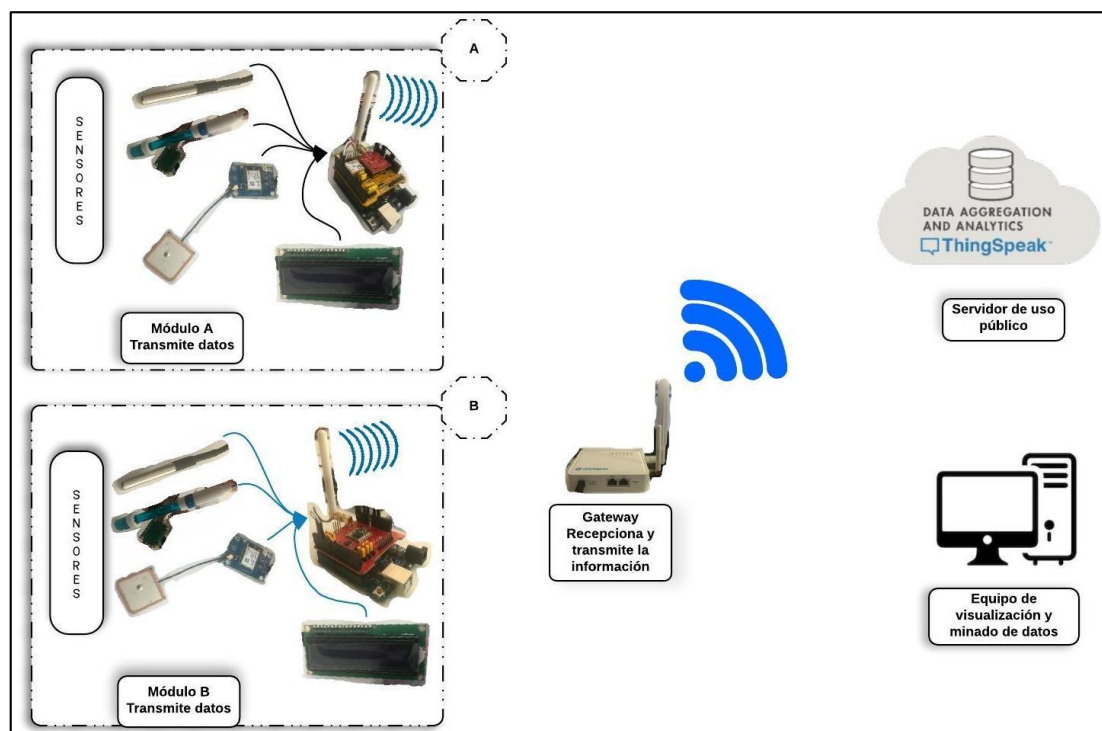


Figura 82. Esquema del módulo
Fuente: Autoría propia

Las pruebas del enlace de comunicación fueron desarrolladas sobre los Shield Dragino montados en la placa de Arduino UNO con los sensores conectados (sus especificaciones se hallan en el Diseño de la solución del Capítulo 3). Dichas pruebas se dieron en el décimo piso de un edificio con el Gateway ubicado en la planta baja.

Para proveer de energía a los nodos A y B se utilizó la conexión USB de dos computadoras personales debido a su corta distancia de evaluación y a las buenas condiciones de la ubicación.

Posteriormente, las siguientes pruebas se realizaron con baterías de Litio 18650 de 3.7V conectadas en serie con un valor total de 7.4V.

En la Figura 83 podemos apreciar el nodo A conformado con el LoRa Shield GPS de color amarillo, el sensor de pH, el sensor de temperatura y módulo GPS montados sobre una protoboard.

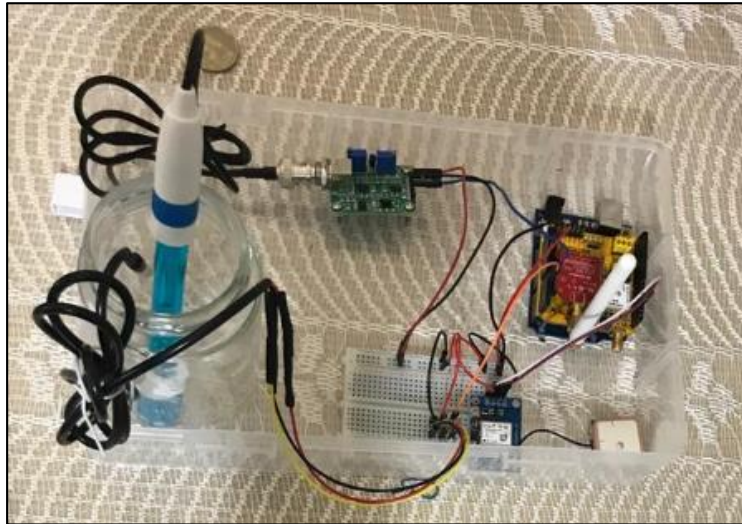


Figura 83. Nodo A del sistema de monitoreo
Fuente: Autoría propia

La Figura 84 muestra el nodo B conformado por el LoRa Shield de color rojo, sensor de pH, el sensor de temperatura y módulo GPS montados sobre una protoboard.

Los resultados obtenidos en el nodo A referentes a la temperatura, pH y localización se resumen en las Tablas 37, 38, 39 y 40.

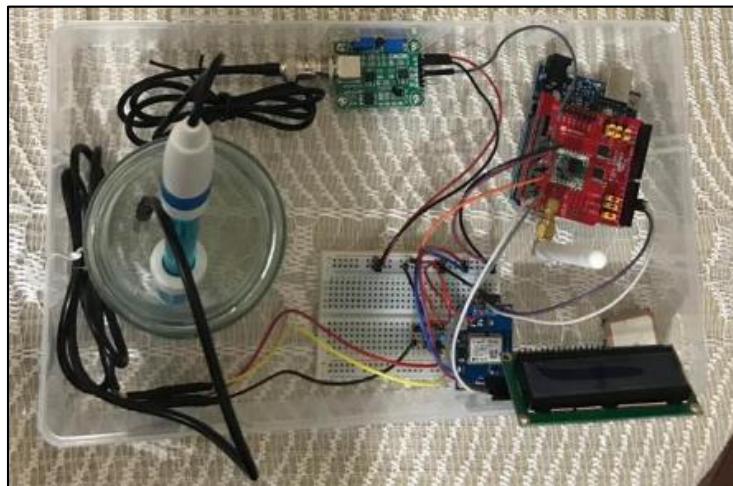


Figura 84. Nodo B del sistema de monitoreo
Fuente: Autoría propia

Tabla 37.
Datos de temperatura nodo A

Fecha	Hora	Temperatura (°C)
15/01/2020	12:24:28	24.4
15/01/2020	12:24:47	24.4
15/01/2020	12:25:04	24.4
15/01/2020	12:25:23	24.3
15/01/2020	12:25:41	24.4
15/01/2020	12:25:58	24.4
15/01/2020	12:26:16	24.3
15/01/2020	12:26:35	24.3
15/01/2020	12:26:52	24.3
15/01/2020	12:27:11	24.3
15/01/2020	12:27:28	24.3
15/01/2020	12:27:47	24.4
15/01/2020	12:28:04	24.4

Nota: Autoría propia

Tabla 38.
Datos de pH nodo A

Fecha	Hora	pH
15/01/2020	12:24:28	5.53
15/01/2020	12:24:47	5.45
15/01/2020	12:25:04	5.56
15/01/2020	12:25:23	5.62
15/01/2020	12:25:41	5.60
15/01/2020	12:25:58	5.61
15/01/2020	12:26:16	5.62
15/01/2020	12:26:35	5.63
15/01/2020	12:26:52	5.65
15/01/2020	12:27:11	5.65
15/01/2020	12:27:28	5.65
15/01/2020	12:27:47	5.67
15/01/2020	12:28:04	5.67

Nota: Autoría propia

Los valores de temperatura, pH descritos en la Tabla 37, 38 permanecieron estables y la toma de datos se dio en menos de un minuto, ello valida el funcionamiento del nodo A.

Seguido se muestran los resultados referentes a localización.

Tabla 39.
Datos de Latitud nodo A

Fecha	Hora	Latitud
15/01/2020	12:24:28	-12.0754
15/01/2020	12:24:47	-12.0754
15/01/2020	12:25:04	-12.0754
15/01/2020	12:25:23	-12.0754
15/01/2020	12:25:41	-12.0754
15/01/2020	12:25:58	-12.0754
15/01/2020	12:26:16	-12.0754
15/01/2020	12:26:35	-12.0754
15/01/2020	12:26:52	-12.0754
15/01/2020	12:27:11	-12.0754
15/01/2020	12:27:28	-12.0754

Nota: Autoría propia

Tabla 40.
Datos de Longitud nodo A

Fecha	Hora	Longitud
15/01/2020	12:24:28	-77.0750
15/01/2020	12:24:47	-77.0750
15/01/2020	12:25:04	-77.0750
15/01/2020	12:25:23	-77.0750
15/01/2020	12:25:41	-77.0750
15/01/2020	12:25:58	-77.0750
15/01/2020	12:26:16	-77.0750
15/01/2020	12:26:35	-77.0750
15/01/2020	12:26:52	-77.0750
15/01/2020	12:27:11	-77.0750
15/01/2020	12:27:28	-77.0750

Nota: Autoría propia

Los datos de latitud descritos en la Tabla 39 y de longitud registrados en la Tabla 40 permanecieron estables con un promedio de treinta segundos en cada envío de datos.

A continuación en la Figura 85 se ilustran los diagramas de los valores descritos en las cuatro tablas ya mencionadas.

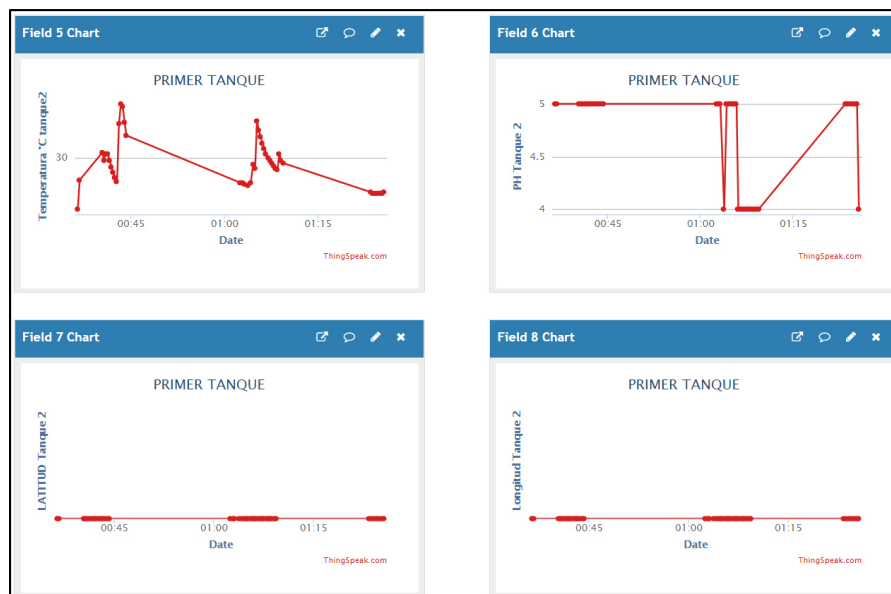


Figura 85. Gráfico en Thing Speak nodo A
Fuente: Autoría propia

Los datos en los gráficos de la Figura 74 fueron obtenidos en un rango de tiempo de 35 minutos donde los valores de temperatura y pH mostraron variación y los valores de latitud y longitud se mantuvieron constantes por la inamovilidad del nodo A.

Los resultados obtenidos en el nodo B referentes a la temperatura, pH y localización se resumen en las tablas 41, 42, 43 y 44.

Tabla 41.
Datos de la temperatura nodo B

Fecha	Hora	Temperatura (°C)
15/01/2020	12:24:28	32.54
15/01/2020	12:24:47	32.50
15/01/2020	12:25:04	32.55
15/01/2020	12:25:23	32.57
15/01/2020	12:25:41	32.58
15/01/2020	12:25:58	32.60
15/01/2020	12:26:16	32.61
15/01/2020	12:26:35	32.62
15/01/2020	12:26:52	32.64
15/01/2020	12:27:11	32.65

Nota: Autoría propia

Tabla 42.
Datos del pH nodo B

Fecha	Hora	pH
15/01/2020	12:24:28	2.53
15/01/2020	12:24:47	2.54
15/01/2020	12:25:04	2.57
15/01/2020	12:25:23	2.63
15/01/2020	12:25:41	2.65
15/01/2020	12:25:58	2.67
15/01/2020	12:26:16	2.68
15/01/2020	12:26:35	2.73
15/01/2020	12:26:52	2.82
5/01/2020	12:27:11	2.85

Nota: Autoría propia

Los valores de temperatura y pH descritos en la Tabla 35 y 36 permanecieron estables y la toma de datos se dio en menos de un minuto, ello valida el funcionamiento del módulo. A continuación, los resultados referentes a localización.

Tabla 43.
Datos de Latitud nodo B

Fecha	Hora	Latitud
15/01/2020	12:24:28	-12.0754
15/01/2020	12:24:47	-12.0754
15/01/2020	12:25:04	-12.0754
15/01/2020	12:25:23	-12.0754
15/01/2020	12:25:41	-12.0754
15/01/2020	12:25:58	-12.0754
15/01/2020	12:26:16	-12.0754
15/01/2020	12:26:35	-12.0754
15/01/2020	12:26:52	-12.0754

Nota: Autoría propia

Tabla 44.
Datos de Longitud nodo B

Fecha	Hora	Longitud
15/01/2020	12:24:28	-77.0750
15/01/2020	12:24:47	-77.0750
15/01/2020	12:25:04	-77.0750
15/01/2020	12:25:23	-77.0750
15/01/2020	12:25:41	-77.0750
15/01/2020	12:25:58	-77.0750
15/01/2020	12:26:16	-77.0750
15/01/2020	12:26:35	-77.0750
15/01/2020	12:26:52	-77.0750

Nota: Autoría propia

Los datos de latitud descritos en la Tabla 43 y de longitud registrados en la Tabla 44 permanecieron estables con un promedio de treinta segundos en cada envío de datos.

A continuación, en la Figura 86 se ilustran los diagramas de los valores descritos en las cuatro tablas ya mencionadas.

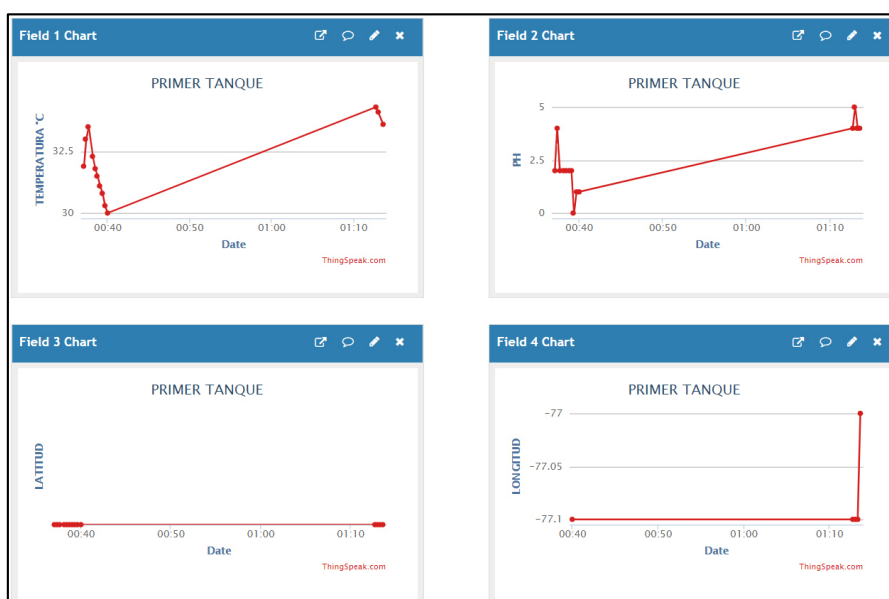


Figura 86. Gráfico en Thing Speak nodo B
Fuente: Autoría propia

Los datos en los gráficos de la Figura 86 fueron obtenidos en un rango de tiempo de 35 minutos donde los valores de temperatura y pH presentaron variaciones y los valores de latitud y longitud se mantuvieron constantes por la inamovilidad del nodo.

Los sensores antes de ser utilizados para las pruebas fueron calibrados con sustancias patrón en el caso del pH con el Buffer y el sensor de temperatura comparado con medidas tomadas por un pirómetro digital, esto se detalla en el capítulo 3 Metodología de desarrollo.

Se evaluó el monitoreo de temperatura en la leche entre los rangos de 6°C a 7°C y de pH entre los rangos de 6.5 y 6.8 como valores adecuados durante el transporte del insumo. Se visualiza en las Tablas 32 y 36 valores por debajo del rango de pH y en las Tablas 31 y 35 valores por encima del rango de temperatura. Con ello se demuestra que en caso real el insumo se convertiría en desecho.

Este proyecto de factibilidad evitaría el desperdicio e insumo utilizando el protocolo de comunicación LoRaWAN.

5.3 Pruebas en el distrito de Chilca

Se desarrollaron pruebas con dos nodos, nodo A y nodo B, ambos alimentados con celdas de Litio 18650 de 3.7V conectados en serie con tensión en los extremos de 7.4V. Se buscó un funcionamiento autónomo de aproximadamente 4 horas para las pruebas y para esto se midió el consumo total de los elementos (ver Tabla 45):

Tabla 45.

Consumo teórico de los elementos del nodo

Elemento	Consumo a 5V
Módulo GPS	37 mA
Arduino UNO	50 mA
Sensor DS18B20	1 mA
Sensor de pH	10 mA
Modulo lcd con i2c	150 mA
Módulo Ai-Thinker RF	120 mA

Nota: Autoría propia

Con la suma de los valores teóricos de la tabla 45 se obtuvo un consumo de 368mA a 5V, considerando el voltaje de las baterías de 7.4V al estar en serie se calculó el consumo del circuito en base a la potencia con la formula conocida:

$$\text{Potencia} = \text{Voltaje} \times \text{Corriente}$$

$$\text{Potencia} = 5V \times 368mA$$

$$\text{Potencia} = 1.84 \text{ W}$$

A continuación, se calcula el consumo con nuestra fuente de 7.4V,

$$1.84W = 7.4V \times \text{Corriente}$$

$$\text{Corriente} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje}}$$

$$\frac{1.84}{7.4} = 248mA$$

Comprando el cálculo con un amperímetro se corroboró el resultado. Como se observa en la Figura 87 que es de 235.2mA.

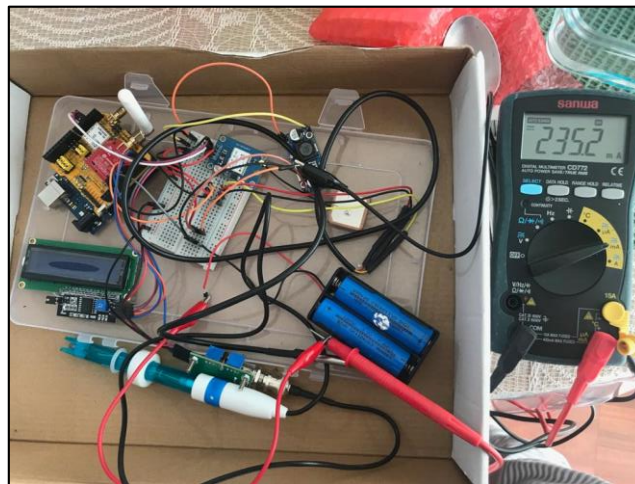


Figura 87. Gráfico en Thing Speak nodo B
Fuente: Autoría propia

Con apoyo de un amperímetro se midió el consumo total del sistema arrojando un valor de 235.2 mA muy similar al consumo total teórico de 248 mA.

Entonces, se procedió a dividir la capacidad de las baterías con el consumo de 235.2mA.

$$\frac{2200mAh}{235.2mAh} = 9.36 \text{ horas de funcionamiento}$$

Se recomienda no descargar más del 50% de batería para mantener su vida útil, lo que dejará con 4.68 horas de funcionamiento útil. Con esto se comprueba que las baterías están sobredimensionados para la prueba necesaria lo que deja margen para aumentar el periodo de muestreo y uso de la aplicación en terreno.

Podemos observar en la Figura 88 al nodo A implementado al interior de una caja de paso a modo de prototipo.



Figura 88. Prototipo Shield de radiofrecuencia
Fuente: Autoría propia

En la Figura 89 se aprecia los gráficos de temperatura, pH, latitud y longitud almacenados en el servidor público Thing Speak. Se observa variaciones en los valores de posición motivo del desplazamiento que se dio en distancias mayores a 3 km. También se visualiza cambios en los valores de temperatura y pH.



Figura 89. Gráfico en Thing Speak nodo A
Fuente: Autoría propia

En la Tabla 46 se muestra la data obtenida de los sensores de temperatura, pH, latitud y longitud. Se observan cambios en todas las variables debido al desplazamiento, las variaciones de temperatura y al sedimentado de la muestra de pH.

Tabla 46.

Datos del nodo A almacenados en Thing Speak

Fecha	Hora	Temperatura	pH	Latitud	Longitud
17/02/2020	01:46:14	22	10.75	-12.538	-76.722
17/02/2020	01:46:31	22	10.46	-12.538	-76.722
17/02/2020	01:46:50	22	10.4	-12.538	-76.722
17/02/2020	01:47:08	22	10.22	-12.539	-76.722
17/02/2020	01:47:25	22.1	10.05	-12.539	-76.722
17/02/2020	01:47:44	22	9.7	-12.539	-76.722
17/02/2020	01:48:01	21.9	9.64	-12.539	-76.722
17/02/2020	01:48:20	21.9	9.35	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:48:37	21.9	9.11	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:48:56	22.3	8.88	-12.539	-76.722
17/02/2020	01:49:20	22.4	8.65	-12.539	-76.722
17/02/2020	01:49:37	22.6	8.35	-12.539	-76.722
17/02/2020	01:49:56	22.8	8.24	-12.539	-76.722
17/02/2020	01:50:13	23	8.12	-12.538	-76.722

Nota: Autoría propia

El nodo B que se aprecia en la Figura 90 está conformado por el LoRa Shield de color amarillo, sensor de pH, el sensor de temperatura, módulo GPS, fuente Switching Buck, celdas de Litio 18650 de 3.7V conectados en serie con tensión en los extremos de 7.4V, montados en protoboard.

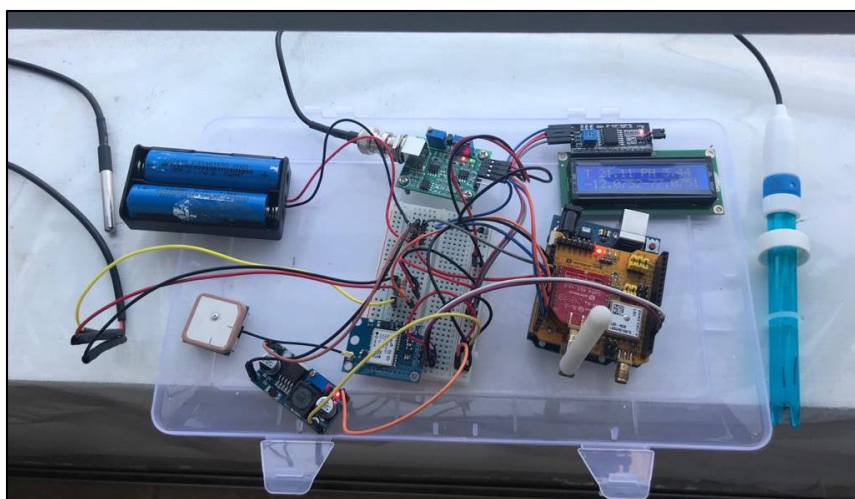


Figura 90. Nodo B de monitoreo
Fuente: Autoría propia

En la Figura 91 se aprecia los gráficos de temperatura, pH, latitud y longitud almacenados en el servidor público Thing Speak. Se observa variaciones en los valores de posición motivo del desplazamiento que se dio en distancias mayores de 1 km. También se visualiza cambios en los valores de temperatura y pH.

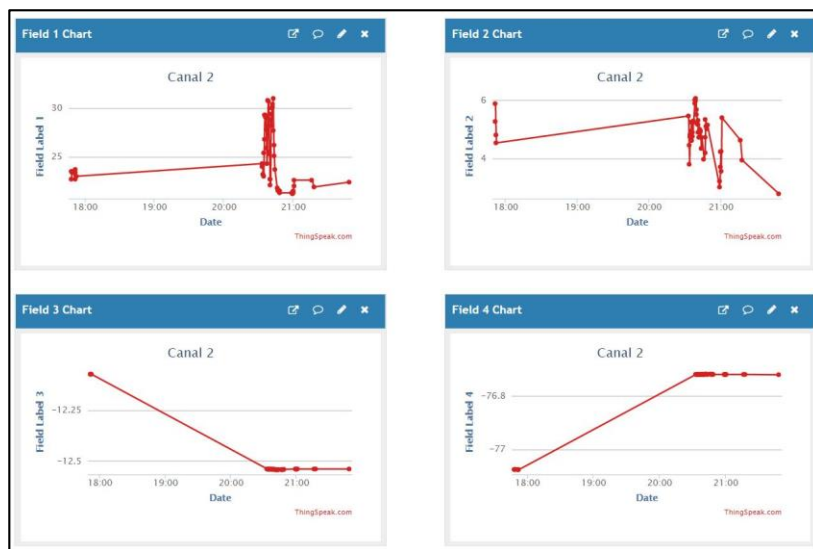


Figura 91. Gráfico en Thing Speak nodo B
Fuente: Autoría propia

En la Tabla 47 se muestra la data obtenida de los sensores de temperatura, pH, latitud y longitud. Se observan cambios en todas las variables debido al desplazamiento, las variaciones de temperatura y al sedimentado de la muestra de pH.

Tabla 47.
Datos del nodo B almacenados en Thing Speak

Fecha	Hora	Temperatura	pH	Latitud	Longitud
16/02/2020	22:51:24	22.7	5.88	-12.075	-77.076
16/02/2020	22:51:42	23.7	5.27	-12.075	-77.076
16/02/2020	22:51:59	23.4	4.81	-12.075	-77.076
16/02/2020	22:52:18	23	4.54	-12.075	-77.076
17/02/2020	01:33:01	24.3	5.46	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:33:26	24	4.46	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:33:50	23.2	3.81	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:34:08	23.2	4.82	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:34:25	23	4.74	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:34:44	25.4	4.69	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:35:01	26.8	4.94	-12.54	-76.721

Nota: Autoría propia

Con apoyo de la plataforma APP Inventor se utilizó bloques de programación para enlazar la información almacenada por el servidor público con el objetivo de ser visualizada por un aplicativo móvil. Este aplicativo proyectó los valores de nivel de temperatura, pH junto con latitud y altitud para la localización de los vehículos.

En la serie de imágenes siguientes se observa la comprobación en terreno del desplazamiento de los nodos y la utilización de la aplicación App que se detalló en el capítulo 3 de Metodología y desarrollo.

La Figura 92 muestra el desplazamiento del nodo con una distancia aproximada de 1 km, los valores de latitud y longitud varían en cada nodo.

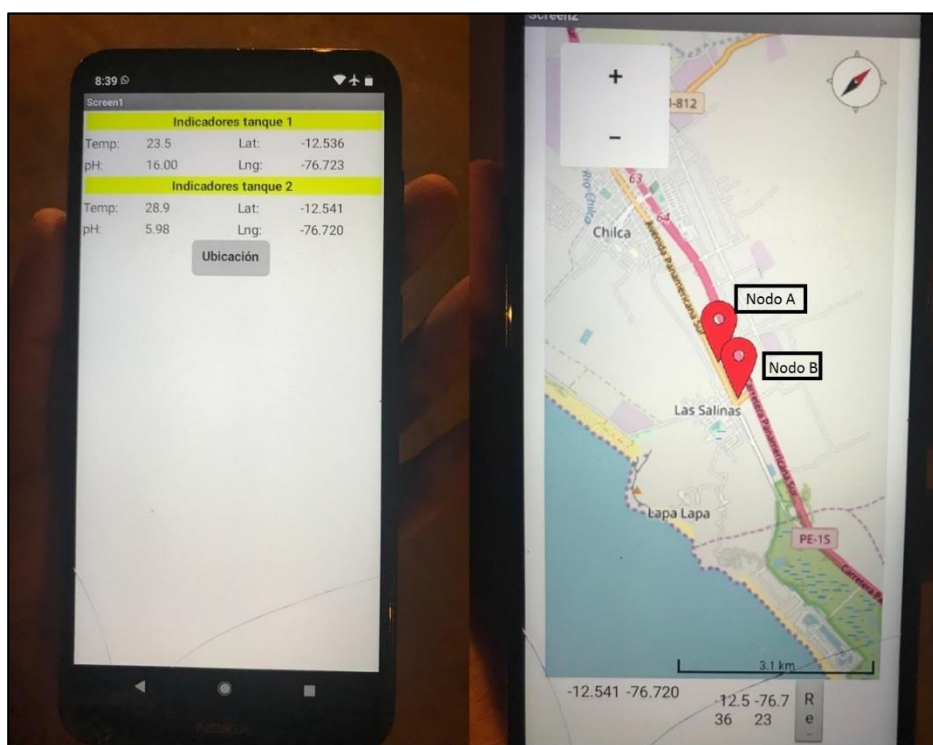


Figura 92. Comprobación en terreno distancia 1km
Fuente: Autoría propia

La Figura 93 muestra la distancia entre nodos aproximada de 2km a comparación de la Figura 81 los valores de latitud y longitud varían para ambos nodos

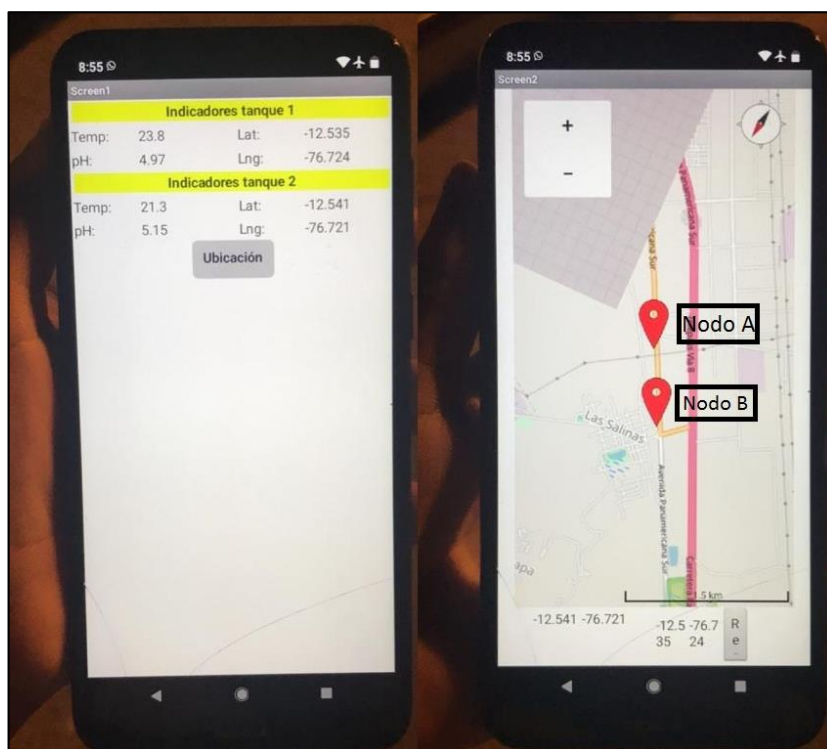


Figura 93. Comprobación en terreno distancia 2km
Fuente: Autoría propia

En la Figura 94 se visualiza la máxima distancia alcanzada que viene a ser de 3 km, los cambios en los valores de latitud y longitud lo sostienen.

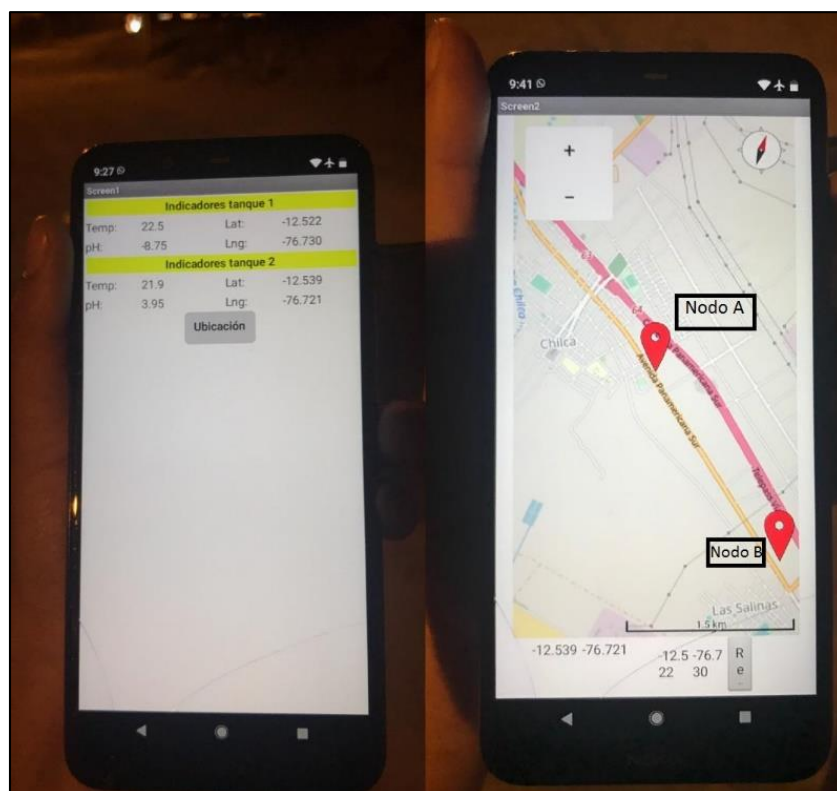


Figura 94. Comprobación en terreno distancia 3km
Fuente: Autoría propia

La Figura 95 junta tres posiciones alcanzadas gradualmente durante el desplazamiento del nodo.

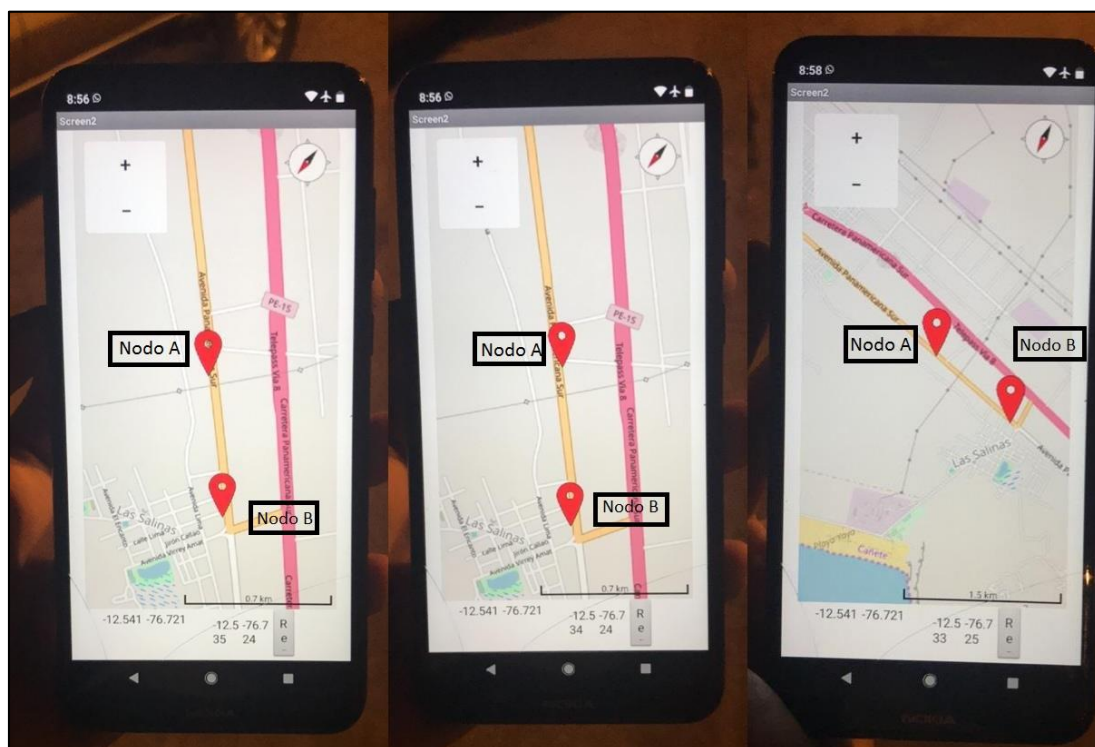


Figura 95. Desplazamiento gradual de los nodos
Fuente: Autoría propia

5.4 Evaluación Económica

A continuación, en las Tablas 48, 49 y 50 se detallan los costos de los equipos, las herramientas y los materiales necesarios para invertir.

Sumando el total de activos tangibles con el total de activos intangibles; la suma asciende a 47 123,76 soles que viene a ser la inversión total.

Tabla 48.
Inversión de activos tangibles e intangibles

INVERSION		
Activos Tangibles		S/.
	3 Mesas de trabajo	S/ 900.00
	2 Osciloscopio	S/ 3,000.00
	2 Fuentes de tensión	S/ 3,000.00
	5 Multímetros	S/ 600.00
	4 Kits para soldadura (Cautín, pasta, estaño, extractor, etc)	S/ 1,200.00
	2 Hornos para soldado	S/ 4,833.76
	4 Computadoras	S/ 12,000.00
	Componentes electrónicos	S/ 4,000.00
	3 Pistolas de Silicona	S/ 150.00
	3 Kits Dremel	S/ 2,000.00
	3 Pistolas de calor	S/ 360.00
	4 Lamparas	S/ 480.00
	3 Estantes	S/ 300.00
	6 Sillas de trabajo	S/ 600.00
	2 Cajones de Herramientas	S/ 800.00
	Material de limpieza	S/ 300.00
Total Activos Tangibles		S/ 34,523.76
Activos Intangibles		S/.
	Patente de diseño tarjetas	S/ 8,000.00
	Inscripcion a registros públicos	S/ 2,500.00
	Diseño e inscripción de marca en indecopi	S/ 2,100.00
Total Activos Intangibles		S/ 12,600.00
TOTAL INVERSION		S/ 47,123.76
Se requiere una inversión total de: 47,123.76 soles		

Nota: Autoría propia

La Tabla 49 proyecta información sobre el costo para desarrollar el producto que viene a ser 501,54 soles. El monto para producir un dispositivo se multiplica por el número aproximado posible a venderse en el primer mes y resultan 4 012,28 soles que es el monto para producir 8 dispositivos. Los siguientes valores son costos fijos para el funcionamiento del negocio.

Tabla 49.
Capital de trabajo

CAPITAL DE TRABAJO		
Costos variables mes 1		S/.
	Costo variable unitario	S/ 501.54
	Cantidad a vender mes 1	8
Costos variables mes 1		S/ 4,012.28
Costos fijos mes 1		S/.
	Alquiler	S/ 2,000.00
	Electricidad, calefacción, agua	S/ 500.00
	Reparación y mantenimiento	S/ 500.00
	Insumos de Oficina / teléfono	S/ 100.00
	Teléfono Movil	S/ 300.00
	Mantenimiento	S/ 300.00
	Arbitrios	S/ 100.00
	Vendedor	S/ 2,000.00
	Jefe de logistica	S/ 1,500.00
	Contador	S/ 1,000.00
	Gerente General	S/ 4,500.00
	Community manager	S/ 1,000.00
	Supervisor de operaciones	S/ 2,500.00
	Asistente post-venta	S/ 1,000.00
	04 Tecnicos	S/ 7,200.00
Costos fijos mes 1		S/ 24,500.00
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO		S/ 28,512.28
<p>Luego de la inversión inicial, se requiere de 28,512.28 soles para poder financiar las obligaciones inmediatas durante 30 días y así mantener el negocio en operación.</p>		

Nota: Autoría propia

Los dos valores de inversión junto con capital de trabajo sumaron 75 636,04 soles. Este monto viene a ser invertido íntegramente por la persona sin necesidad de pedir un préstamo al banco y depender de un pago a cierto interés.

Tabla 50.

Inversión y Capital de Trabajo

Inversion y Capital de trabajo	
INVERSION	S/ 47,123.76
CAPITAL DE TRABAJO	S/ 28,512.28
TOTAL Inversion y Capital de trabajo	S/ 75,636.04
<p>Se requiere un capital de trabajo e inversion de 75,636.04 soles para iniciar el proyecto y mantener las operaciones del negocio por 30 días. Luego de 30 días se asume que se podrá cobrar al cliente.</p>	

Nota: Autoría propia

La Tabla 50 muestra el flujo de caja para todo el año 2020, parte de un mes 0 donde solo existe la inversión inicial junto con el capital de trabajo, sigue el mes 1 donde la inversión inicial se mantendrá y no existirá ventas pero si comenzarán a contarse los costos fijos porque la producción iniciará, esos montos fijos se consideran como valores negativos que se restarán para obtener el saldo final. Para los siguientes meses ya habrá producción, ofreciendo cada producto a un precio de venta de 5 000 soles, así también se tendrá en cuenta el pago por impuesto a la renta que vendrá a ser 1.5 % de las ventas totales.

5.5 Beneficios obtenidos

Este proyecto al contar con el desarrollo de equipos digitales dirigidos a la innovación tecnológica ha podido brindar estándares abiertos para la comunicación inalámbrica con un reducido consumo de energía, considerable radio de comunicación y un bajo costo de adquisición. Esta nueva tecnología son las redes LPWAN con el protocolo de libre acceso LoRaWAN, al cual se le configuró para conseguir su adaptación a la realidad del campo a funcionar.

El uso de esta nueva tecnología se está convirtiendo en un factor clave para asegurar el buen funcionamiento de servicios. Ejemplo de ello, es la proyección de monitorear el consumo de agua por casa, sector, piso de departamento hasta en un territorio mayor como un distrito. Ahora, aterrizando esa idea con la propuesta planteada en este proyecto, la aplicación de la red LoRaWAN en comunidades alto andinas generó un gran beneficio al automatizar un proceso de control y monitoreo semi-manual hacia uno digital para la eliminación total del desperdicio de la leche.

Asimismo, la utilidad de desarrollar un software libre para aplicaciones con LoRaWAN que cumpla con los estándares y especificaciones tecnológicas, conocidos como protocolos abiertos, abre la posibilidad de integrar otros sistemas y compartir información, lo cual asegura su accesibilidad a otros proveedores.

Por último, la información obtenida es en tiempo real y proviene del monitoreo durante el traslado de leche. Estos datos son almacenados en contenedores virtuales a través de plataformas gratuitas para su posterior estudio de tendencias. Por ende, la información siempre se encuentra cercana para su uso y acción, sin la necesidad de intermediarios.

Capítulo 6

Conclusiones

LoraWAN es un protocolo de libre acceso que facilita el monitoreo industrializado de procesos definidos en el traslado y control de insumos importantes. Para comprender este sistema primero se tuvo que plantear los objetivos, desarrollar las distintas fases y verificar los resultados de acuerdo a los motivos intrínsecos del proyecto. Aunque, los resultados alcanzados ya fueron explicados y detallados en un capítulo previo, no se definieron las conclusiones personales, ni los beneficios del uso de las redes de amplio espectro. Por ello, se vio en la necesidad de definir un apartado donde se realice una breve explicación y resumen asertivo acerca de las conclusiones finales alcanzadas, sin olvidar estar acorde a los objetivos de este proyecto integrador. Todo en favor de expresar los beneficios, tanto individuales como colectivos, del uso y comprensión de las redes de amplio espectro, es decir, las redes LPWAN.

Primero, las redes LPWAN pertenecen a un grupo llamado IoT (Internet of Things), tal como su nombre lo indica es un concepto referido a la interconexión digital de objetos cotidianos con el uso de la Internet. Ahora, en el caso de este proyecto, el primer beneficio obtenido fue la posibilidad de diseñar un sistema basado en este concepto, el cual gracias a su flexibilidad, aplicabilidad y adaptabilidad eliminó obstáculos importantes para el avance no solo de este designio, sino para intenciones mucho más ambiciosas a futuro. En otras palabras, las simplezas de los parámetros junto a las bondades de estas redes mostraron un indicio indudable de aplicación a gran escala en diferentes áreas.

Tal como se escribió en líneas anteriores en este proyecto se presentó la oportunidad de aplicar de forma superficial, los beneficios que pueden otorgar las redes de libre acceso LPWAN junto con el protocolo LoRaWAN. Sin embargo, esto solo representa un paso muy

primigenio ante posibilidades superiores. Hoy en día el monitoreo de factores en base a radiofrecuencia es muy importante en los procesos productivos de la era moderna; en cambio estos procesos de radiofrecuencia no son restrictivos hacia la industria, es más pueden ser aplicados a procesos de gestión pública servicios de medidor a cobranza, control de válvula remota, pérdidas de electricidad y de agua, gestión de interrupciones (tecnologías de monitoreo), integración de sistemas y almacenamiento de recursos de energía renovable y distribuida. Lo cual tal vez no representa la evolución máxima de estos sistemas sino un paso hacia el monitoreo total de todos los procedimientos humanos.

Capítulo 7

Recomendaciones

- ❖ Usualmente para trabajar en un servidor público es necesario una plataforma libre que lo soporte. Para facilitar la construcción una red inalámbrica LoRa sugiere la plataforma TTN (The Things Network). Esta plataforma presenta dos modos de trabajo, el OTAA y el ABP. También se puede trabajar con el protocolo MQTT a través de la plataforma Thing Speak. La decisión dependerá de cuanta seguridad se necesite para el desarrollo del sistema de red.
- ❖ Para la óptima comunicación entre los diferentes nodos del Gateway asociado, se recomienda contar con un servidor personalizado para el protocolo LoRaWAN. En este se administrará y manipulará los datos recibidos y se logrará eliminar cualquier tipo de incertidumbre que se tenga sobre el proceso de intercomunicación de dispositivos.
- ❖ Al utilizar el dispositivo, generalmente existen errores asociados al mal manejo del Gateway o a los valores introducidos en la interfaz LoRaWAN. Por ello, en la siguiente lista se presentará un resumen de los errores más comunes que se hallaron en el manejo de la placa Arduino UNO y, por último, una solución parcial de dichos errores:
 - El Spread Factor viene a ser un valor importante y la elección de su valor dependerá de la distancia de transmisión. Se cometió el error de utilizar un SF alto para una corta distancia generando interferencia entre ambos nodos. Por ello se recomienda revisar los valores determinados para la distancia de transmisión. Para el caso expuesto en esta tesis se determinó utilizar un SF de 8 debido a la distancia de comunicación máxima de 5km predeterminada en el Gateway LG01-N.
 - Error en la comunicación entre los nodos y el Gateway. Este problema generalmente se asocia a la mala configuración del Gateway con la interfaz LoRaWAN. Los valores para eliminar tal error deben ser:

- Valor de la frecuencia: 505300000 Hz
 - Spread Factor: 8.
 - Coding rate: 4/5.
 - Signal Bandwidth: 125 kHz.
- Error en la frecuencia de los nodos. Debido a que el Gateway usado posee limitaciones al solo trabajar en una frecuencia, se debe configurar a los nodos para que trabajen en la misma frecuencia del Gateway asociado, de no ser el caso, no existirá comunicación.
- ❖ Ahora, si bien algunos errores se deben a la configuración de los parámetros, otros se deben a los gadgets asociados al módulo Arduino UNO. A continuación, se presenta una lista de los errores comunes encontrados en este proyecto integrador:
- Error en el módulo GPS NEO 6M. Este error se encuentra asociado a la cantidad de construcciones, objetos u obstáculos que impiden la emisión de la señal. Para solucionarlo, solo se necesita trasladar dicho modulo hacia un área libre de elementos, donde la línea de vista (LoS) no se vea afectada. Ahora, en casos de mayor incertidumbre, usar una antena de mayor potencia o alcance.
 - Error de calibración en el sensor de pH. Este error se presenta cuando no se encuentra calibrado correctamente este sensor. Para corregir este problema, este debe ser calibrado realizando previamente un muestreo de diferentes insumos. Luego, para regular los valores emitidos se debe hacer uso de dos potenciómetros, uno para la medición del OFFSET (7V) y otro para definir los límites del circuito sensor.

Referencias bibliográficas

- Accent Systems. (s.f.). *Accent Systems*. Obtenido de Accent Systems: <https://accent-systems.com/es/>
- Aguilar, S. (17 de Mayo de 2019). *PUCP*. Obtenido de PUCP: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14211>
- AI-THINKER. (s.f.). *AI-THINKER*. Obtenido de AI-THINKER: http://wiki.ai-thinker.com/_media/lora/docs/c048ps01a1_ra-02_product_specification_v1.1.pdf
- Almeida, A. (27 de Junio de 2019). *RPP Noticias*. Obtenido de RPP: <https://rpp.pe/columnistas/alexandrealmeida/investigacion-y-desarrollo-id-en-el-peru-invertimos-lo-suficiente-noticia-1204891>
- APP Inventor. (s.f.). *APP Inventor*. Obtenido de APP Inventor: <https://appinventor.mit.edu/>
- Arduino. (s.f.). *Arduino*. Obtenido de Arduino: <https://www.arduino.cc/>
- Barrueto, M. (15 de Marzo de 2018). *The Things Network*. Obtenido de The Things Network: <https://www.thethingsnetwork.org/community/lima/post/lora-e-iota-tecnologias-abiertas-para-smart-cities-e-industria-40>
- Brousett-Minaya, M., Torres, A., Chambi, A., Mamani, B., & Gutiérrez, H. (12 de Julio de 2015). *Scientia Agropecuaria: Scientific Journal of Universidad Nacional de Trujillo*. Obtenido de Scientia Agropecuaria: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/955>
- Cassidy, D., Holton, G., & Rutherford, J. (2002). *Understanding Physics*. Nueva York: Springer-Verlag New York, Inc.
- Castillo, J., & Álvarez, J. (17 de Marzo de 2016). *Food News*. Obtenido de Food News: <https://www.foodnewslatam.com/paises/86-nicaagua/5361-las-principales-fuentes-de-contaminación-de-la-leche-cruda.html>

- Castro, A. (22 de Enero de 2019). *Aetecno*. Obtenido de Aetecno:
<https://tecno.americaeconomia.com/articulos/como-esta-el-panorama-del-iot-en-latinoamerica>
- CISCO. (s.f.). *CISCO Comunidad de Cisco*. Obtenido de CISCO Comunidad de Cisco:
<https://community.cisco.com/t5/blogs-wireless-mobility/radio-frecuencia-mediciones-y-matem%C3%A1ticas/ba-p/3179371>
- Crespo, E. (7 de Marzo de 2018). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de Aprendiendo Arduino:
<https://www.aprendiendoarduino.com/tag/lora-shield/>
- DRAGINO. (s.f.). *DRAGINO*. Obtenido de DRAGINO: <https://www.dragino.com/index.php>
- El Informador. (6 de Mayo de 2019). *Informador.Mx*. Obtenido de Informador.Mx:
<https://www.informador.mx/economia/Agricultura-lidera-proyectos-en-Internet-de-las-Cosas-20190506-0043.html>
- Electronilab. (s.f.). *Electronilab*. Obtenido de Electronilab:
<https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-ds18b20-tipo-sonda/>
- ENEL. (05 de Septiembre de 2019). *Scribd*. Obtenido de Scribd:
<https://es.scribd.com/document/424630799/Jose-Manuel-Revuelta-Peru-2021>
- EPA. (Abril de 2014). *EPA: United States Enviromental Protection Agency*. Obtenido de United States Enviromental Protection Agency:
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-04/documents/pr2002-1.pdf>
- Equimarkets. (s.f.). *Equimarkets*. Obtenido de Equimarkets:
https://www.equimarkets.com/product_info.php?c=bateria%203.7%20v%202200mah
- E-Tinkers. (30 de Noviembre de 2019). *E-Tinkers*. Obtenido de E-Tinkers: <https://www.e-tinkers.com/2019/11/measure-ph-with-a-low-cost-arduino-ph-sensor-board/>

FAO, & OMS. (2005). CODEX ALIMENTARIUS. En FAO, & OMS, *CODEX ALIMENTARIUS* (págs. 1-4). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Federico Aguer, J. M. (27 de Julio de 2019). *Campo Litoral*. Obtenido de Campo Litoral: https://www.campolitoral.com.ar/?m=interior&id_um=203369-apicultura-a-traves-de-la-nube-internet-de-las-cosas-para-el-campo-campolitoral.html

Fundación país digital. (2018). *Cómo emprender en Internet de las Cosas*. Santiago de Chile: Fundación país digital.

GEEK FACTORY. (s.f.). *GEEK FACTORY*. Obtenido de GEEK FACTORY: <https://www.geekfactory.mx/>

Gestión. (1 de Junio de 2018). *Gestión: Economía*. Obtenido de Gestión: <https://gestion.pe/economia/produccion-leche-peru-aumento-100-000-toneladas-ano-235009-noticia/?ref=gesr>

HETPRO Store. (2014). *HETPRO Store*. Obtenido de HETPRO Store: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/gps-ublox-neo-6m-modulo-con-matlab/>

IMD. (26 de Septiembre de 2019). *IMD: Real Learning. Real Impact*. Obtenido de IMD: <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2019/>

INICTEL. (16 de Julio de 2019). *INICTEL-UNI*. Obtenido de Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones: <http://www.inictel-uni.edu.pe/noticias/equipo-de-investigacion-que-busca-la-preservacion-de-camelidos-como-guanacos-realizo>

LoRa Alliance. (s.f.). *LoRa Alliance*. Obtenido de LoRa Alliance: <https://lora-alliance.org/>

MARKA MAGAZINE. (20 de Junio de 2019). *MARKA MAGAZINE*. Obtenido de MARKA MAGAZINE: <https://markamagazine.com/912-2/>

- Maxim Integrated. (Julio de 2019). *Maxim Integrated*. Obtenido de Maxim Integrated: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- MEDIUM. (s.f.). *MEDIUM*. Obtenido de MEDIUM: <https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/lorawan-d00f48384160>
- MINAGRI. (29 de Enero de 2020). *Ministerio de Agricultura y Riego: AgroRural*. Obtenido de AgroRural: <https://www.agrorural.gob.pe/minagri-ganaderos-de-cajamarca-cusco-y-puno-incrementan-en-40-produccion-lechera-y-lacteos/>
- MINAGRI. (sf). *MINAGRI: Ministerio de Agricultura y Riego*. Obtenido de MINAGRI: <https://www.minagri.gob.pe/portal//download/pdf/herramientas/organizaciones/dgpa/documentos/queso.pdf>
- MINSA. (05 de Marzo de 2017). *gob.pe: Plataforma digital única del Estado Peruano*. Obtenido de gob.pe: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/190095-008-2017-sa>
- Moreno, F., Rodriguez, G., Méndez, V., Osuna, L., & Vargas, M. (4 de Septiembre de 2007). *Dialnet*. Obtenido de *Dialnet*: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4943762>
- Negri, L. (2005). Manual de Referencias técnicas para el logro de leche de calidad. En L. Negri, *Manual de Referencias técnicas para el logro de leche de calidad* (págs. 155-161). Buenos Aires: INTA. Obtenido de Scielo.
- NXIoT. (s.f.). *NXIoT FOR AN EASIER LIFE*. Obtenido de NXIoT FOR AN EASIER LIFE: <https://www.nxtiot.io/index.php/2018/07/23/conectividad-ahora-y-mas-alla-explorando-las-conexiones-cat-m1-nb-iot-y-lpwan/>
- Panaggio, M. (s.f.). *OBS Business School*. Obtenido de OBS Business School: <https://obsbusiness.school/es/blog-investigacion/logistica/internet-fisica-la-nueva-logistica>

Peña, M. (21 de Noviembre de 2019). *Digital Trends*. Obtenido de Digital Trends:
<https://es.digitaltrends.com/tendencias/que-es-el-internet-de-las-cosas/>

Proyecto PRADERA. (21 de Mayo de 2019). *Facebook*. Obtenido de Facebook:
<https://www.facebook.com/proyectopraderagobiernoregionalpuno/photos/a.694019874348065/713581052391947/?type=1&theater>

Putty. (s.f.). *Putty*. Obtenido de Puty: <https://www.putty.org/>

Rivamar, A. (Marzo de 2013). *Blogspot*. Obtenido de Blogspot:
<http://sabetecnologia.blogspot.com/2013/03/tabla-comparativa-de-arduinos.html>

Robots Didácticos. (7 de Diciembre de 2018). *Robots Didácticos*. Obtenido de Robots Didácticos:
<http://robots-argentina.com.ar/didactica/descripcion-y-funcionamiento-del-bus-i2c/>

Scidle . (10 de Marzo de 2017). *Scidle Science and Technology*. Obtenido de Scidle Science and Technology: <https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>

Sicheri, S. (27 de Septiembre de 2018). *El Comercio*. Obtenido de El Comercio:
<https://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/peru-diamante-bruto-iot-internet-cosas-sergio-sicheri-noticia-562045-noticia/>

SIM Point. (s.f.). *SIM Point*. Obtenido de SIM Point: <https://www.simpoint.com/en/>

Teslabem. (4 de Febrero de 2017). *Teslabem*. Obtenido de Teslabem:
<https://teslabem.com/nivel-intermedio/fundamentos/>

Think Speak. (s.f.). *Think Speak*. Obtenido de Think Speak: <https://thingspeak.com/>

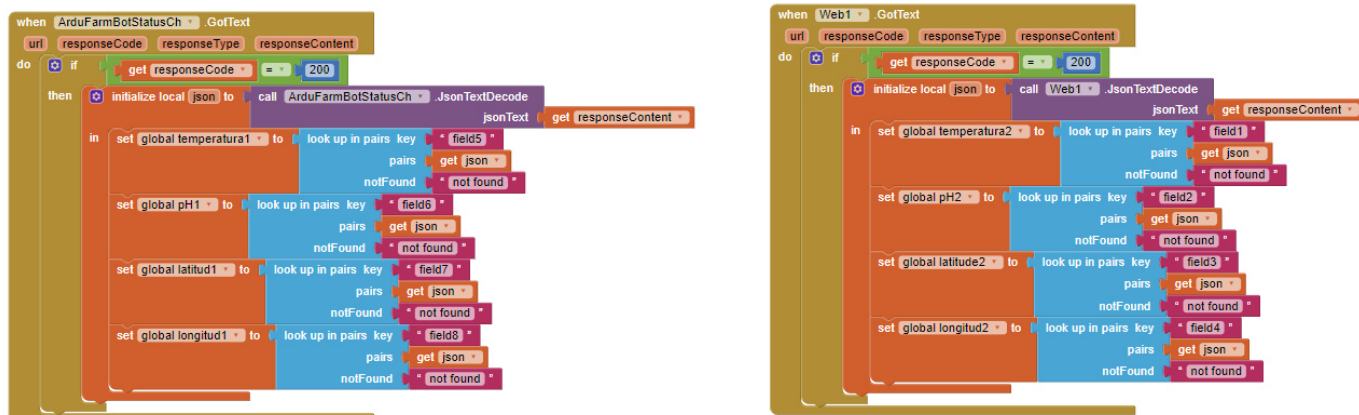
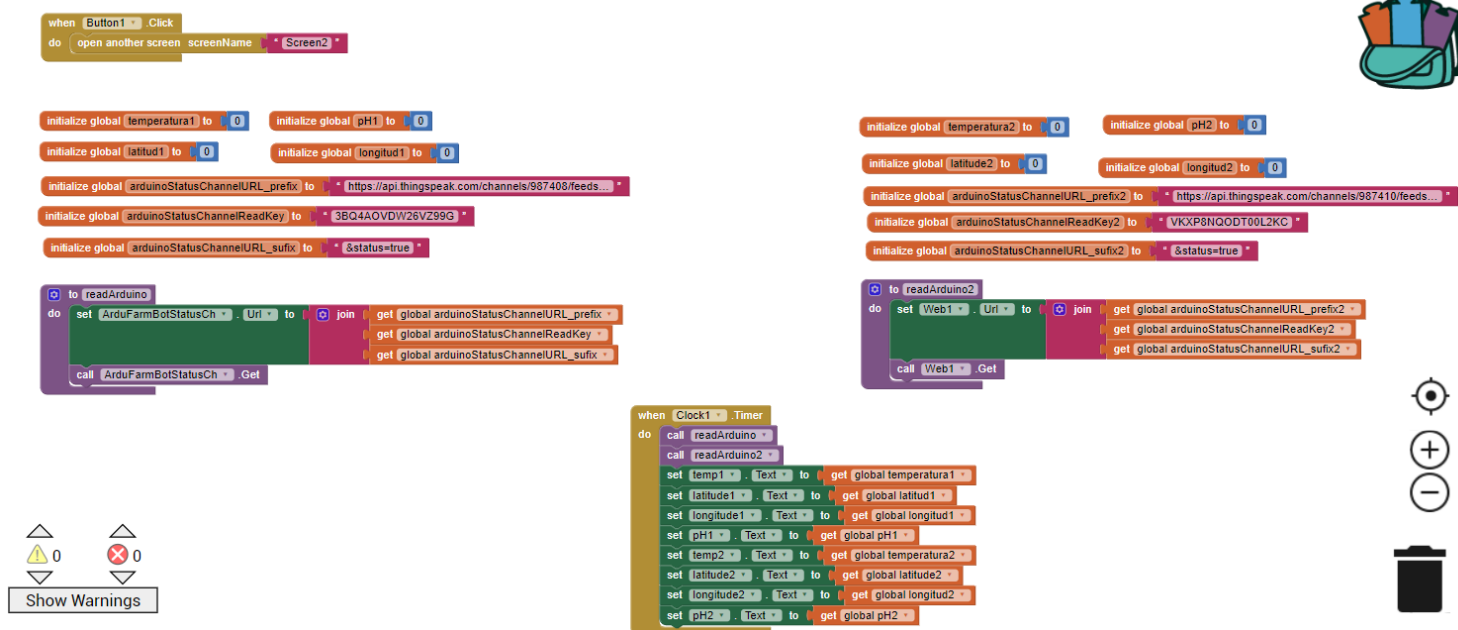
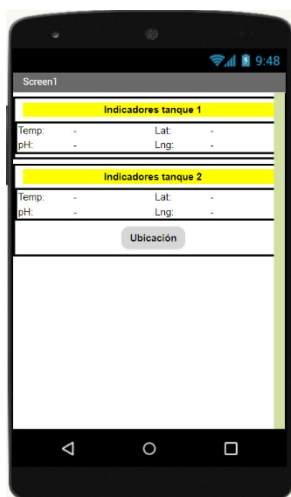
Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Naucalpan de Juárez: Pearson Education.

TPElectronic. (s.f.). *TPElectronic*. Obtenido de TPElectronic:
<http://tpelectronic.ir/datasheets/20150123144301750.pdf>

- Triana, M. (4 de Septiembre de 2019). *RCN Radio*. Obtenido de RCN Radio:
<https://www.rcnradio.com/colombia/industrias-lacteas-como-dinamizadores-de-economias-locales>
- TTN. (s.f.). *The Things Network*. Obtenido de The Things Network:
<https://www.thethingsnetwork.org/>
- Unidad Educativa Fiscomisional Don Bosco. (s.f.). *SlidePlayer*. Obtenido de SlidePlayer:
<https://slideplayer.es/slide/5650991/>
- Universidad del Zulia. (2003). *Introducción al control de calidad de la leche cruda: Guía Práctica*. Maracaibo: Facultad de Ciencias Veterinarias. Obtenido de
http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/materialdeapoyoparapruebasdeplataforma_1693.pdf
- USDA. (3 de Mayo de 2003). *United States Department of Agriculture: Animal and Plant Health Inspection Service*. Obtenido de Animal and Plant Health Inspection Service:
https://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/dairy/downloads/dairy02/Dairy02_is_BST_1.pdf
- UTEC. (2019). Transformación digital en el Perú: Testimonios y Experiencias de los principales líderes empresariales del Perú. En UTEC, *Transformación digital en el Perú: Testimonios y Experiencias de los principales líderes empresariales del Perú* (págs. 162-170). Perú: EVERIS PERÚ S.A.C.
- Weightless. (s.f.). *Weightless*. Obtenido de Weightless:
<http://www.weightless.org/keyfeatures/capacity>
- Wenner, R. (18 de Noviembre de 2017). *The Things Network*. Obtenido de The Things Network: <https://www.thethingsnetwork.org/community/cardiff/post/spreading-factor>
- WND Group. (s.f.). *WND Group*. Obtenido de WND Group:
<https://www.wndgroup.io/tag/lora/>

Zona Industrial. (s.f.). *Zona Industrial Networking y Automatización*. Obtenido de Zona Industrial Networking y Automatización: <http://herramienta.zonaindustrial.cl/wlan-calculator.html>

Apéndice A: Diagrama de bloques de APP Inventor pantalla 1



Apéndice B: Diagrama de bloques App Inventor pantalla 2



```
when Button1.Click
do open another screen screenName "Screen1"
```

```
initialize global latitude1 to 0
initialize global longitude1 to 0
```

```
initialize global arduinostatuschannel_prefix to "https://api.thingspeak.com/channels/987408/feeds..."
initialize global arduinostatuschannel2_readkey to "3BQ4AOVDIW26VZ99G"
initialize global arduinostatuschannel3_suffix to "&status=true"
```

```
to readArduino
do set Web1.Uri to join get global arduinostatuschannel_prefix
get global arduinostatuschannel2_readkey
get global arduinostatuschannel3_suffix
call Web1.Get
```

```
initialize global latitude2 to 0
initialize global longitude2 to 0
```

```
initialize global arduinostatuschannel2_prefix2 to "https://api.thingspeak.com/channels/987410/feeds..."
initialize global arduinostatuschannel2_readkey2 to "VKXP8NQODT00L2KC"
initialize global arduinostatuschannel3_suffix2 to "&status=true"
```

```
to readArduino2
do set Web2.Uri to join get global arduinostatuschannel2_prefix2
get global arduinostatuschannel2_readkey2
get global arduinostatuschannel3_suffix2
call Web2.Get
```

```
when Clock1.Timer
do call readArduino
call readArduino2
set Label1.Text to get global latitude1
set Label2.Text to get global longitude1
set Label3.Text to get global latitude2
set Label4.Text to get global longitude2
```

```
when Web1.GetText
url responseCode responseType responseContent
do if get responseCode == 200
then initialize local json to call Web1.JsonTextDecode
in set global latitude1 to look up in pairs key field7
pairs get json
notFound not found
set global longitude1 to look up in pairs key field8
pairs get json
notFound not found
call Map1.PanTo
latitude get global latitude1
longitude get global longitude1
zoom Map1.ZoomLevel
call Marker1.SetLocation
latitude get global latitude1
longitude get global longitude1
```

```
when Web2.GetText
url responseCode responseType responseContent
do if get responseCode == 200
then initialize local json to call Web2.JsonTextDecode
in set global latitude2 to look up in pairs key field3
pairs get json
notFound not found
set global longitude2 to look up in pairs key field4
pairs get json
notFound not found
call Marker2.SetLocation
latitude get global latitude2
longitude get global longitude2
```

Apéndice C: Programación de prototipo y nodo A rojo

```

#include <SPI.h>

#include <LoRa.h>

#include <TinyGPS++.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

int RXPin = 3;

int TXPin = 4;

TinyGPSPlus gps;

OneWire ourWire1(A1);

DallasTemperature sensor1(&ourWire1);

SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);

char tempera_2[8]={"\0"},peachim_2[8]={"\0"},gps_2[8]={"\0"}, gps_3[8]= {"\0"};

char *node_id = "<8379>"; //identificador de nodo

uint8_t datasend[36];

unsigned int count = 1;

unsigned long new_time,old_time=0;

float gpsvalorlat,gpsvalorlng,peachimetro,temperatura,prumerPH,tem_1,tem_2;

const int pinPo = A0;

float RawValue=0;

float CorrectedValue=0;

```

```

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  ss.begin(9600);

  lcd.init();

  lcd.backlight();

  while (!Serial);

  Serial.println("LoRa Sender");

  if (!LoRa.begin(505300000)) {

    Serial.println("Starting LoRa failed!");

    while (1); }

  LoRa.setSpreadingFactor(8);

  LoRa.setSignalBandwidth(125000);

  LoRa.setCodingRate4(5);

  LoRa.setSyncWord(0x34);

  Serial.println("LoRa init succeeded.");

  LoRa.onReceive(onReceive);

  LoRa.receive(); }

void temperaturaread() {

  sensor1.requestTemperatures();

  RawValue = sensor1.getTempCByIndex(0);

  Serial.print("Sens. 1 ");

  CorrectedValue=(RawValue*89)/98;

  Serial.println(CorrectedValue,1);

  lcd.setCursor(0,0);

```

```

lcd.print("T ");

lcd.print(CorrectedValue);

delay(900); }

void peachiread() {

  int pole[10];

  int zaloha;

  unsigned long int prumerVysl = 0;

  for (int i = 0; i < 10; i++) {

    pole[i] = analogRead(pinPo);

    delay(10); }

  for (int i = 0; i < 9; i++) {

    for (int j = i + 1; j < 10; j++) {

      if (pole[i] > pole[j]) {

        zaloha = pole[i];

        pole[i] = pole[j];

        pole[j] = zaloha; } } }

  for (int i = 2; i < 8; i++) {

    prumerVysl += pole[i]; }

  prumerPH = (float)prumerVysl * (5.0 / 1024.0 / 6);

  Serial.print(prumerPH);

  peachimetro = -71.75 * prumerPH + 217.1;

```

```

Serial.print("Namerene pH= ");

lcd.setCursor(8, 0);

lcd.print("PH ");

lcd.print(peachimetro);

delay(900); }

```

```

void gpsread() {

    Serial.print("Latitude= ");

    Serial.print(gps.location.lat(), 6);

    gpsvalorlat=gps.location.lat();

    Serial.print(" Longitude= ");

    Serial.println(gps.location.lng(), 6);

    gpsvalorlng=gps.location.lng();


    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("LT ");

    lcd.print(gpsvalorlat);

    lcd.print("LG ");

    lcd.print(gpsvalorlng); }

```

```

void informacionwrite() {

    char data[80] = "\0";

    for(int i = 0; i < 80; i++) {

        data[i] = node_id[i]; }

```



```

dtostrf(CorrectedValue,0,1,tempera_2);

dtostrf(peachimetro,0,2,peachim_2);

dtostrf(gpsvalorlat,0,3,gps_2);

dtostrf(gpsvalorlng,0,3,gps_3);

strcat(data,"field5=");

strcat(data,tempera_2);

strcat(data,"&field6=");

strcat(data,peachim_2);

strcat(data,"&field7=");

strcat(data,gps_2);

strcat(data,"&field8=");

strcat(data,gps_3);

strcpy((char *)datasend,data); }

void SendData() {

    LoRa.beginPacket();

    LoRa.print((char *)datasend);

    LoRa.endPacket();

    Serial.println("Packet Sent"); }

void loop() {

    new_time=millis();

    if (new_time - old_time >= 60 || old_time == 0) {

        while (ss.available() > 0 && new_time-old_time>=60) {

            gps.encode(ss.read());

```

```

if (gps.location.isUpdated() && new_time-old_time>=60 ) {

    old_time=new_time;

    Serial.print("##### ");

    Serial.print("COUNT=");

    Serial.print(count);

    Serial.println(" #####");

    count++;

    temperaturaread();

    peachiread();

    gpsread();

    informacionwrite();

    SendData();

    LoRa.receive();

    delay(500);    } } } }

void onReceive(int packetSize) {

    Serial.print("Received packet : ");

    for (int i = 0; i < packetSize; i++) {

        Serial.print((char)LoRa.read()); }

    Serial.print("\n\r"); }

```

Apéndice D: Programación de nodo B (amarillo)

```

#include <SPI.h>

#include <LoRa.h>

#include <TinyGPS++.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

int RXPin = 3;

int TXPin = 4;

TinyGPSPlus gps;

OneWire ourWire1(A1);

DallasTemperature sensor1(&ourWire1);

SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);

char tempera_1[8]={"\0"},peachim_1[8]={"\0"},gps_1[8]={"\0"}, gps_2[8]= {"\0"};

char *node_id = "<5678>"; //identificador nodo

uint8_t datasend[36];

unsigned int count = 1;

unsigned long new_time,old_time=0;

float gpsvalorlat,gpsvalorlng,peachimetro,temperatura,prumerPH,tem_1,tem_2;

const int pinPo = A0;

float RawValue=0;

float CorrectedValue=0;

```

```

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  ss.begin(9600);

  lcd.init();

  lcd.backlight();

  while (!Serial);

  Serial.println("LoRa Sender");

  if (!LoRa.begin(505300000)) {

    Serial.println("Starting LoRa failed!");

    while (1); }

  LoRa.setSpreadingFactor(8);

  LoRa.setSignalBandwidth(125000);

  LoRa.setCodingRate4(5);

  LoRa.setSyncWord(0x34);

  Serial.println("LoRa init succeeded.");

  LoRa.onReceive(onReceive);

  LoRa.receive(); }

void temperaturaread() {

  sensor1.requestTemperatures();

  RawValue = sensor1.getTempCByIndex(0);

  Serial.print("Sens. 1 ");

  CorrectedValue=(RawValue*89)/98;

  Serial.println(CorrectedValue,1);

  lcd.setCursor(0,0);

```

```

lcd.print("T ");

lcd.print(CorrectedValue);

delay(900); }

void peachiread() {

  int pole[10];

  int zaloha;

  unsigned long int prumerVysl = 0;

  for (int i = 0; i < 10; i++) {

    pole[i] = analogRead(pinPo);

    delay(10); }

  for (int i = 0; i < 9; i++) {

    for (int j = i + 1; j < 10; j++) {

      if (pole[i] > pole[j]) {

        zaloha = pole[i];

        pole[i] = pole[j];

        pole[j] = zaloha; } } }

  for (int i = 2; i < 8; i++) {

    prumerVysl += pole[i]; }

  prumerPH = (float)prumerVysl * (5.0 / 1024.0 / 6);

  Serial.print(prumerPH);

  peachimetro = -8.9687 * prumerPH + 29.112;

```

```

Serial.print("Namerene pH= ");

lcd.setCursor(8, 0);

lcd.print("PH ");

lcd.print(peachimetro);

delay(900); }

```

```

void gpsread() {

    Serial.print("Latitude= ");

    Serial.print(gps.location.lat(), 6);

    gpsvalorlat=gps.location.lat();

    Serial.print(" Longitude= ");

    Serial.println(gps.location.lng(), 6);

    gpsvalorlng=gps.location.lng();

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("LT ");

    lcd.print(gpsvalorlat);

    lcd.print("LG ");

    lcd.print(gpsvalorlng); }

```

```

void informacionwrite() {

    char data[80] = "\0";

    for(int i = 0; i < 80; i++) {

        data[i] = node_id[i]; }

    dtostrf(CorrectedValue,0,1,tempera_1);

```

```

dtostrf(peachimetro,0,2,peachim_1);

dtostrf(gpsvalorlat,0,3,gps_1);

dtostrf(gpsvalorlng,0,3,gps_2);


strcat(data,"field1=");

strcat(data,tempera_1);

strcat(data,"&field2=");

strcat(data,peachim_1);

strcat(data,"&field3=");

strcat(data,gps_1);

strcat(data,"&field4=");

strcat(data,gps_2);

strcpy((char *)datasend,data); }

void SendData() {

    LoRa.beginPacket();

    LoRa.print((char *)datasend);

    LoRa.endPacket();

    Serial.println("Packet Sent"); }

void loop() {

    new_time=millis();

    if (new_time - old_time >= 60 || old_time == 0) {

        while (ss.available() > 0 && new_time-old_time>=60) {

            gps.encode(ss.read());

```

```

if (gps.location.isUpdated() && new_time-old_time>=60 ) {

    old_time=new_time;

    Serial.print("##### ");

    Serial.print("COUNT=");

    Serial.print(count);

    Serial.println(" #####");

    count++;

    temperaturaread();

    peachiread();

    gpsread();

    informacionwrite();

    SendData();

    LoRa.receive();

    delay(500); } } } }

void onReceive(int packetSize) {

    Serial.print("Received packet : ");

    for (int i = 0; i < packetSize; i++) {

        Serial.print((char)LoRa.read()); }

    Serial.print("\n\r"); }

```


Apéndice E: Hoja de especificaciones técnicas del peachímetro E-201-C

PH Sensor E-201-C

Technical Manual Rev 1r0



The pH sensor Module consist of PH sensor also called as PH probe and a Signal Conditioning Board which gives an output which is proportional to the PH Value and can be interfaced directly to any Micro-controller.

The pH sensor components are usually combined into one device called a combination pH electrode. The measuring electrode is usually glass and quite fragile. Recent developments have replaced the glass with more durable solid-state sensors. The preamplifier is a signal-conditioning device. It takes the high-impedance pH electrode signal and changes it into a low impedance signal which the analyzer or transmitter can accept. The preamplifier also strengthens and stabilizes the signal, making it less susceptible to electrical noise.

pH and ORP probes are both used for measuring the acidic intensity of liquid solutions. A pH probe measures acidity on a scale from 0 to 14, with 0 being the most acidic and 14 being the most basic. Similarly, an Oxidation-Reduction Potential (ORP) probe returns a voltage proportional to the tendency of the solution to gain or lose electrons from other substances (which is linked directly to the pH a substance).

Applications:

- Can be used as different tester, pH meter or controller
- Suitable for most aquariums, hydroponics, laboratory etc

General Specifications:

Input supply voltage: 5V
Working current: 5 – 10mA
Detection concentration range: PH 0 – 14
Detection range of temperature: 0 – 80 degC
Response Time:: ≤ 5S
Stability Time: ≤ 60S
Output: Analog
Power Consumption: ≤ 0.5W
Working Temperature: -10 to +50 deg C
Working Humidity: 95%RH (nominal humidity 65%RH)
Weight: 25g
PCB Dimension: 42mm x 32mm x 20mm

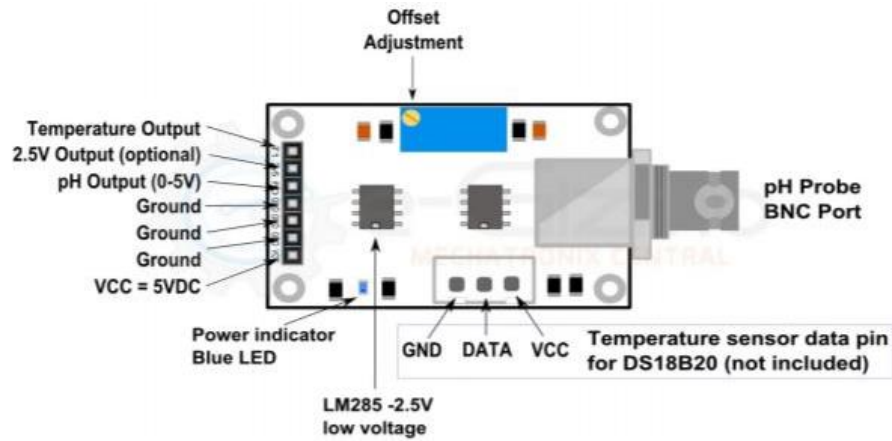


Figure 1: pH Sensor module kit v2 pinouts



Figure 2: pH Substance (solutions for testing reference)

IMPORTANT TIPS:

On How to Clean pH Electrodes:

1. Do not "wipe" or rub the electrode.
2. Swirl the electrode gently in the cleaning solution.
3. Gently rinse with deionized or distilled water.
4. Store in a storage solution.
5. When possible, use a specialized electrode.

Which Cleaning Solution to use?

The cleaning solution you use will depend upon your particular process and the residues you are trying to remove. There is a wide range of pre-mixed cleaning solutions available online or you can make your own. Make sure you take care when handling any cleaning solution – some can be hazardous so make sure you follow all safety instructions and wear appropriate protection equipment!

(For more information - Please go to reference link)

Reference:

<https://www.southforkinst.com/ph-electrodes-clean-repair/>

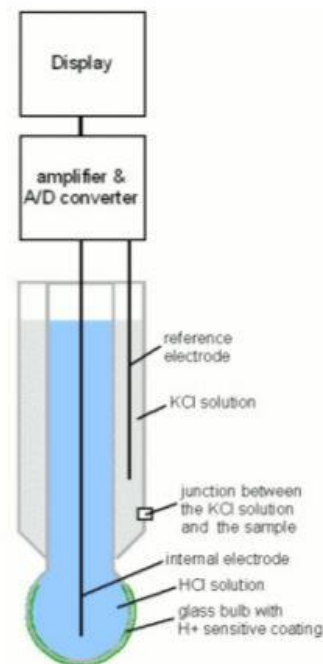


Figure 3: pH Electrode parts

Figure 1: Reference pH Value and Output voltage.

pH Value	Output
4	3.071
7	2.535
10	2.066

Table 2. pH Value of the known substances.

0	5% Sulphuric acid, H ₂ SO ₄ , battery acid.
1	0.1 N HCl, hydrochloric acid (1.1)
2	Lemon juice. Vinegar (2.4-3.4)
3	wine (3.5-3.7)
4	Orange juice. Apple juice (3.8). Beer. Tomatoes.
5	Cottage cheese. Black coffee. Rain water 5.6.
6	Milk. Fish (6.7-7). chicken (6.4-6.6).
7	Neutral: equal numbers of hydrogen and hydroxyl ions. Blood (7.3-7.4). Distilled water without CO ₂ , after boiling.
8	Sea water (8.1). Egg white.
9	Borax. baking soda.
10	Milk of magnesia, Magnesium hydroxide Mg (OH) ₂ .
11	Household ammonia
12	Photographic developer, household bleach
13	Oven cleaner
14	Sodium lye NaOH, 1 mol/litre.

Apéndice F: Hoja de especificaciones técnicas GY-NEO6M V2



SYNACORP TRADING & SERVICES

No.9, 1st Floor, Lrg 1/SS2, Bandar Tasek Mutiara, 14120 Simpang Ampat, S.Prai (S), Penang
 Tel : +604.504.1617 Hunting Line : 012.4033.474 Fax : +604.502.1726
 (Website) <http://www.synacorp.my> (Email) sales@synacorp.com.my

Arduino GY-NEO6MV2 GPS Module c/w Antenna & Flight Control EEPROM



GY-NEO6MV2 board features the u-blox NEO-6M GPS module with antenna and built-in EEPROM. This is compatible with various flight controller boards designed to work with a GPS module.

Technical Specifications:

- Power Supply Range: 3 V to 5 V
- Model: GY-GPS6MV2
- Ceramic antenna
- EEPROM for saving the configuration data when powered off
- Backup battery
- LED signal indicator
- Mounting Hole Diameter: 3 mm
- Default Baud Rate: 9600 bps
- Module size 23mm * 30mm
- Antenna size 12 * 12mm
- Cable: 20mm

Features:

- Use XM37-1612 module, MTK Platform, with high-gain active antenna
- TTL level, compatible with 3.3V/5V system
- The default baud rate: 9600
- With rechargeable backup battery, can save the ephemeris data when it power down, and make the warm start.
- Suitable for RC quad copter, navigator

Apéndice G: Hoja de especificaciones técnicas de la sonda de temperatura DS18B20

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

DS18B20

Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

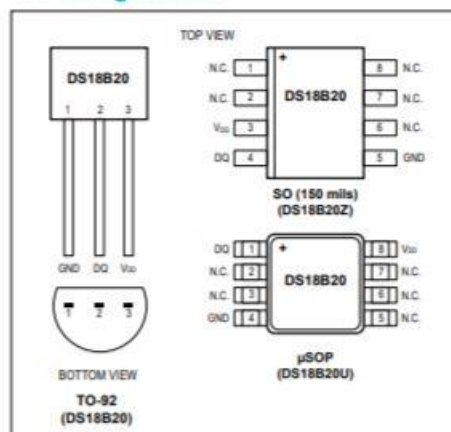
Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
 - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin µSOP, and 3-Pin TO-92 Packages

Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

DS18B20

Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground -0.5V to +6.0V
 Operating Temperature Range -55°C to +125°C

Storage Temperature Range -55°C to +125°C
 Solder Temperature Refer to the IPC/JEDEC
 J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{IO} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		μA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in Figure 1. Thermometer Error limits are 3-sigma values.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3μA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DDS} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

Apéndice H: Hoja de especificaciones técnicas del Step Down LM2596

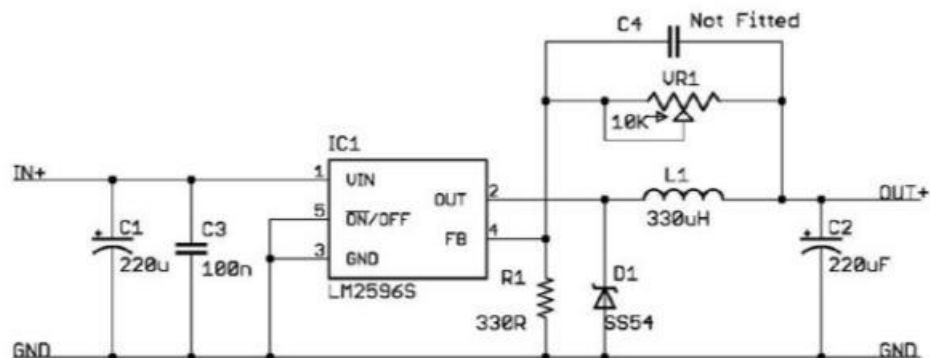
LM2596 DC-DC Adjustable PSU Module



LM2596 DC to DC step down regulator, adjustable +1.23 to 35vdc output, 2A. Ideal for battery operated projects requiring a regulated powersupply.


Specifications

Regulator Type:	Step Down (Non Isolated input to Output)
Input Voltage:	+4 to 40vdc
Output Voltage:	+1.23 to 35vdc
Output Current:	2A rated, (3A maximum with heatsink)
Efficiency:	Up to 92% (when output voltage is set high)
Switching Frequency:	150kHz
Dropout Voltage:	2vdc minimum
Protection:	Short circuit current limiting
Load Regulation:	+/- 0.5%
Voltage Regulation:	+/- 2.5%
Temperature:	-40 to +85 deg C (output power less than 10Watts)
Board Size:	43.6mm L x 21mm W x 14mm H
Data Sheet:	National LM2596



Apéndice I: Hoja de especificaciones técnicas Arduino UNO

Technical Specification

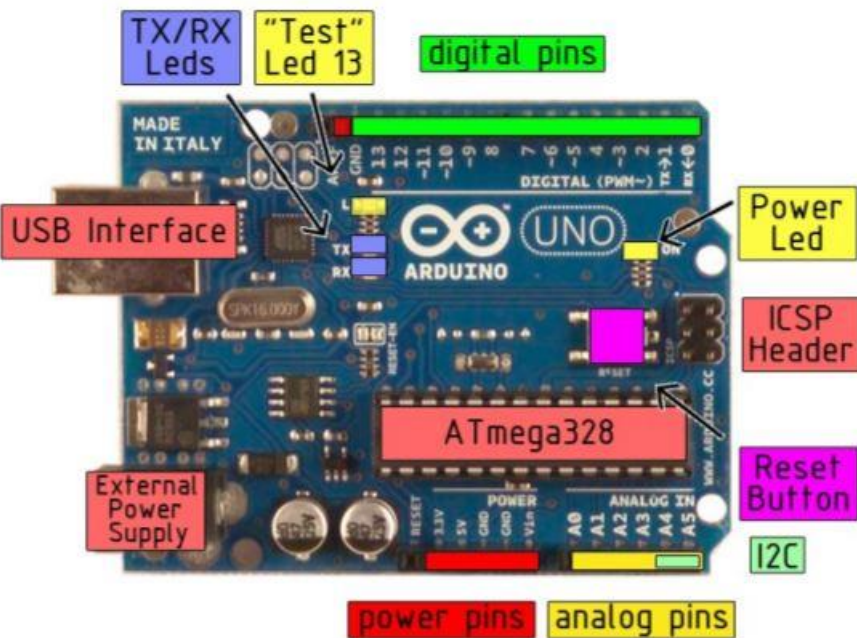


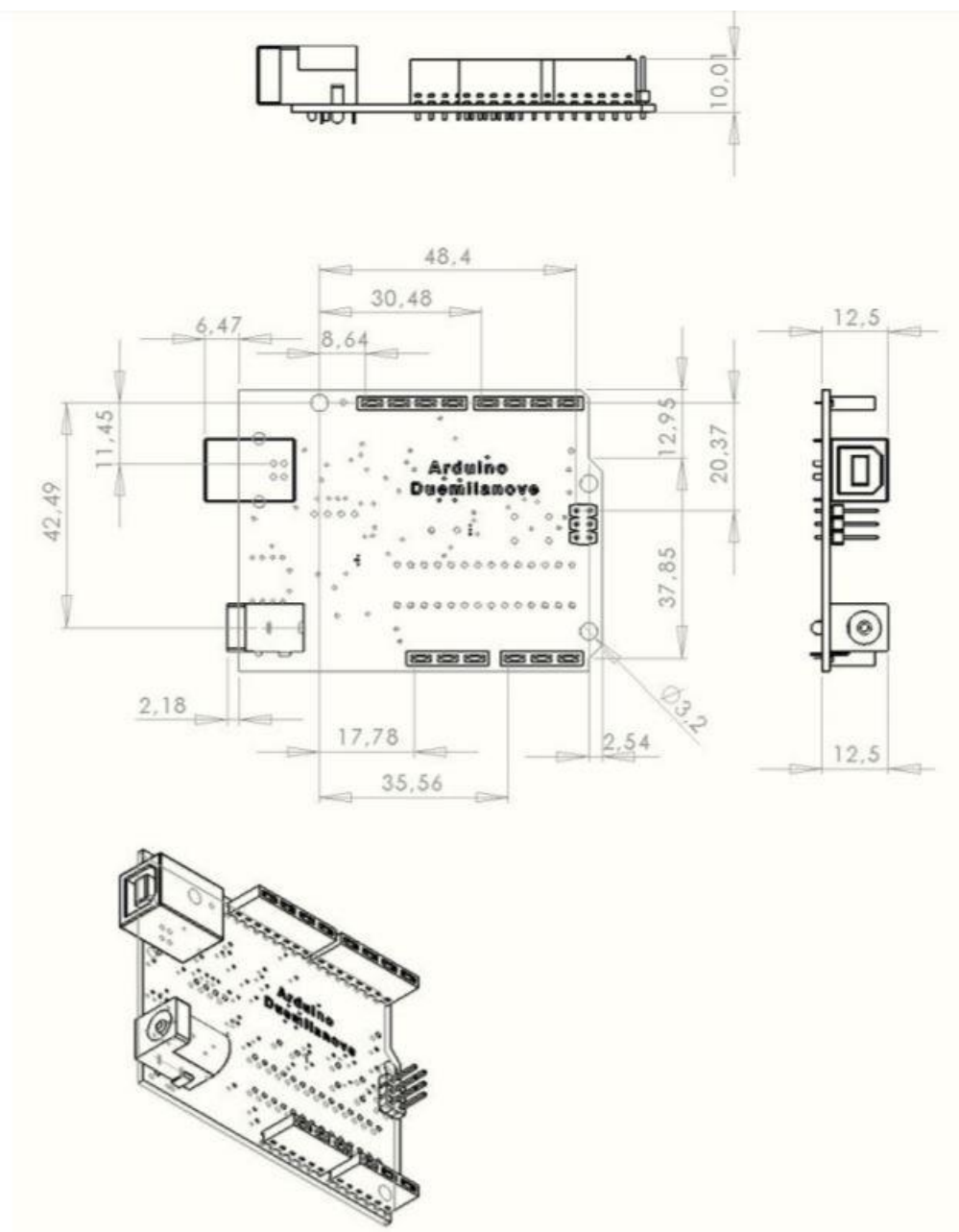
EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board





Apéndice J: Hoja de especificaciones técnicas del gateway LG01-N



OVERVIEW:

LG01N & OLG01N are open source single channel LoRa Gateway. It lets you bridge LoRa wireless network to an IP network via WiFi, Ethernet, 3G or 4G cellular. The LoRa wireless allows users to send data and reach extremely long ranges at low data-rates.

It provides ultra-long range spread spectrum communication and high interference immunity.

LG01N & OLG01N has **WiFi interface, Ethernet port and USB host port**. These interfaces provide flexible methods for users to connect their sensor networks to Internet.

LG01N & OLG01N can support the LoRaWAN protocol in single frequency and customized LoRa transmit protocol. LG01N and OLG01N is the upgrade version of LG01-P & LG01-S & OLG01 LoRa Gateway, the new version can support more end nodes.

The aim for LG01N / OLG01N is to provide a low cost IoT wireless solution to support upto 300 sensor nodes.

Specifications:

Linux Side:

- Processor: 400MHz, 24K MIPS
- Flash: 16MB ; RAM: 64MB

Interfaces:

- 10M/100M RJ45 Ports x 2
- WiFi: 802.11 b/g/n
- LoRa Wireless
- Power Input: 12V DC
- USB 2.0 host connector x 1
- USB 2.0 host internal interface x 1
- 3G/4G module (optional)

Order Option:

Indoor Version:

LG01-XXX-YY.

Outdoor Version:

OLG01-XXX-YY.

-XXX:

- 433: For Bands: EU433, CN470
- 868: For Bands: EU868, IN865
- 915: For US915, AU915, AS923, KR920

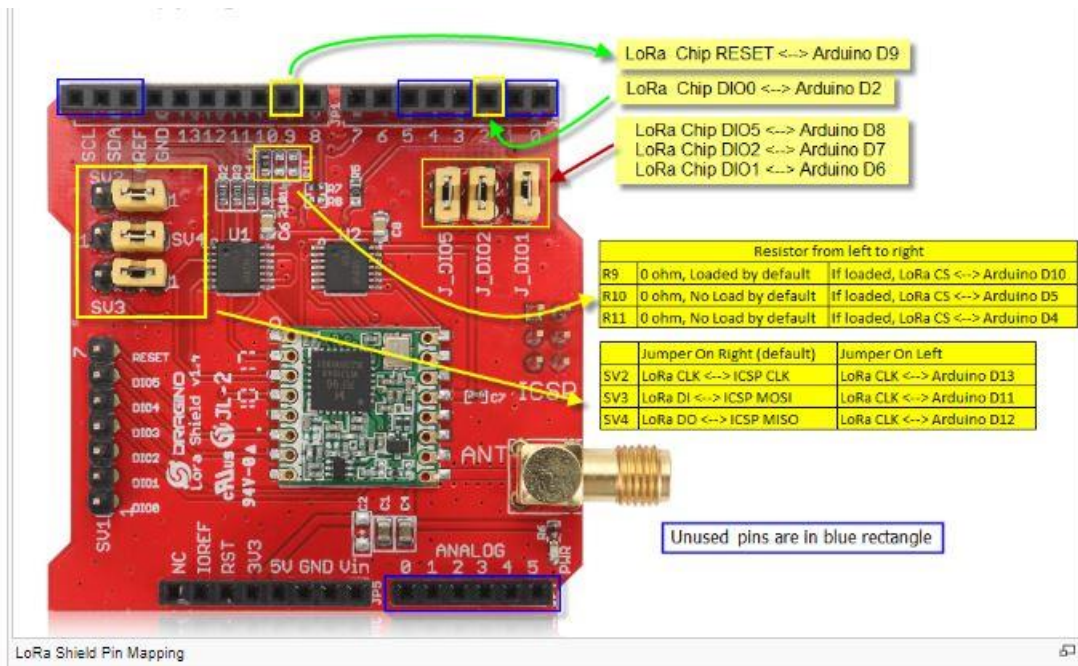
-YY:

- EC25-AU: Latin America, New Zealand, Taiwan
- EC25-E: EMEA, Korea, Thailand, India
- EC25-A: North America/ Rogers/AT&T/T-Mobile
- EC25-J: Japan, DOCOMO/SoftBank/ KDDI

Features:

- Open Source OpenWrt system
- Low power consumption
- Firmware upgrade via Web
- Software upgradable via network
- Flexible protocol to connect to IoT servers
- Auto-Provisioning
- Built-in web server
- Managed by Web GUI, SSH via LAN or WiFi
- Internet connection via LAN, WiFi, 3G or 4G
- Failsafe design provides robustly system
- 1 x SX1276/SX1278 LoRa modules
- Limited support in LoRaWAN/ Support Private LoRa protocol
- Support upto 300 nodes
- Max range in LoRa: 5~10 km. Density Area:>500m

Apéndice K: Hoja de especificaciones técnicas de LoRa Shield



Wireless Specifications of RFM95W

- 168 dB maximum link budget.
- +20 dBm - 100 mW constant RF output vs.
- +14 dBm high efficiency PA.
- Programmable bit rate up to 300 kbps.
- High sensitivity: down to -148 dBm.
- Bullet-proof front end: IIP3 = -12.5 dBm.
- Excellent blocking immunity.
- Low RX current of 10.3 mA, 200 nA register retention.
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz.
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM and OOK modulation.
- Built-in bit synchronizer for clock recovery.
- Preamble detection.
- 127 dB Dynamic Range RSSI.
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC.
- Packet engine up to 256 bytes with CRC.
- Built-in temperature sensor and low battery indicator.

Features

- Compatible with 3.3v or 5v I/O Arduino Board.
- Frequency Band: 915 MHZ/868 MHZ/433 MHZ (Pre-configure in factory)
- Low power consumption
- Compatible with [Arduino Leonardo](#), [Uno](#), [Mega](#), [DUE](#)
- External Antenna via I-Pex connector

Apéndice L: Hoja de especificaciones técnicas LoRa Shield GPS

Description

The LoRa/GPS Shield is an expansion board for LoRa™/GPS for using with the Arduino. This product is intended for those interested in developing LoRa™/GPS solutions. The LoRa/GPS Shield is composed of LoRa/GPS Shield mother board and LoRa BEE.

In the LoRa part, the LoRa/GPS Shield is based on the SX1276/SX1278 transceiver. The transceivers of the LoRa/GPS Shield feature the LoRa™ long range modem that provides ultra-long range spread spectrum communication and high interference immunity whilst minimising current consumption. LoRa™ also provides significant advantages in both blocking and selectivity over conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between range, interference immunity and energy consumption. In the GPS part, the add-on L80 GPS (based on MTK MT3339) is designed for applications that use a GPS connected via the serial ports to the Arduino such as timing applications or general applications that require GPS information. This GPS module can calculate and predict orbits automatically using the ephemeris data (up to 3 days) stored in internal flash memory, so the shield can fix position quickly even at indoor signal levels with low power consumption. With AlwaysLocate™ technology, the LoRa/GPS Shield can adaptively adjust the on/off time to achieve balance between positioning accuracy and power consumption according to the environmental and motion conditions. The GPS also supports automatic antenna switching function. It can achieve the switching between internal patch antenna and external active antenna. Moreover, it keeps positioning during the switching process.

Features

- Frequency Band: 868 MHz
- Low power consumption
- Compatible with Raspberry Pi 2 Model B/Raspberry Pi 3.
- LoRa™ Modem
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ and OOK modulation
- Preamble detection
- Baud rate configurable
- Built-in temperature sensor and low battery indicator
- Excellent blocking immunity
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC
- Support DGPS, SBAS(WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN)
- GPS automatic switching between internal patch antenna and external active antenna
- PPS VS. NMEA can be used in time service
- Support SDK command
- Built-in LNA for better sensitivity
- EASY™, advanced AGPS technology without external memory
- AlwaysLocate™, an intelligent controller of periodic mode
- GPS FLP mode, about 50% power consumption of normal mode
- GPS support short circuit protection and antenna detection

Specification

LoRa Spec

- 168 dB maximum link budget.
- +20 dBm - 100 mW constant RF output vs.

- +14 dBm high efficiency PA.
- Programmable bit rate up to 300 kbps.
- High sensitivity: down to -148 dBm.
- Bullet-proof front end: IIP3 = -12.5 dBm.
- Excellent blocking immunity.
- Low RX current of 10.3 mA, 200 nA register retention.
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz.
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ and OOK modulation.
- Built-in bit synchronizer for clock recovery.
- Preamble detection.
- 127 dB Dynamic Range RSSI.
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC.
- Packet engine up to 256 bytes with CRC.

GPS Spec

- Based on MT3339.
- Power Acquisition:25mA,Power Tracking:20mA.
- Compliant with GPS, SBAS.
- Programmable bit rate up to 300 kbps.
- Serial Interfaces UART: Adjustable 4800~115200 bps,Default: 9600bps.
- Update rate:1Hz (Default), up to10Hz.
- I/O Voltage:2.7V ~ 2.9V.
- Protocols:NMEA 0183,PMTK.
- Horizontal Position Accuracy:Autonomous<2.5 m CEP.
- TTFF@-130dBm with EASY™:Cold Start<15s,Warm Start <5s,Hot start <1s;TTFF@-130dBm.without EASY™:Cold Start <35s,Warm Start <30s,Hot Start <1s.
- Timing Accuracy:1PPS out 10ns, Reacquisition Time<1s.
- Velocity Accuracy Without aid<0.1m/s,Acceleration Accuracy Without aid 0.1m/s².
- Sensitivity Acquisition -148dBm, Tracking -165dBm, Reacquisition -160dBm.
- Environmental:Operating Temperature -40°C to 85°C,Storage Temperature -45°C to 125°C.
- Dynamic Performance Altitude Max.18000m, Maximum Velocity Max.515m/s, Maximum Acceleration 4G.
- L1 Band Receiver(1575.42MHz) Channel 22 (Tracking) /66 (Acquisition).

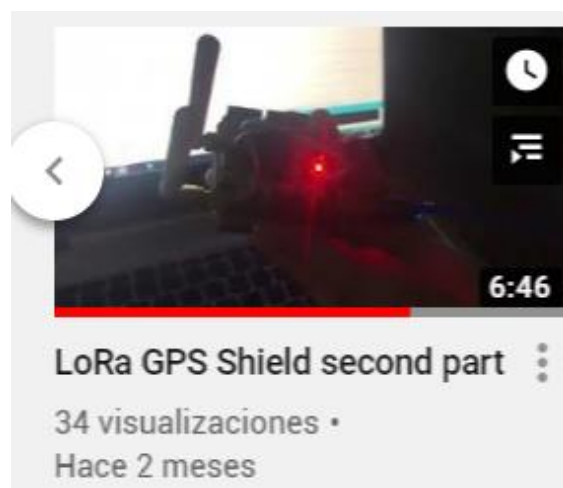
Apéndice M: Videos del funcionamiento de las fases del proyecto



<https://www.youtube.com/watch?v=ugUBlVIQ9ns&t=119s>



<https://www.youtube.com/watch?v=8tflFKnqksw&t=223s>



<https://www.youtube.com/watch?v=NRxrbD09kGQ>

Apéndice N: Tabla de datos del prototipo, prueba Chilca

created_at	entry_id	field_5	Temperatura	pH	Latitud	Longitud
17/02/2020 01:45:02	138	22	11.8	-12.537	-76.722	
17/02/2020 01:45:20	139	22	11.33	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:45:37	140	22	11.1	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:45:56	141	22	11.04	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:46:14	142	22	10.75	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:46:31	143	22	10.46	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:46:50	144	22	10.4	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:47:08	145	22	10.22	-12.539	-76.722	
17/02/2020 01:47:25	146	22.1	10.05	-12.539	-76.722	
17/02/2020 01:47:44	147	22	9.7	-12.539	-76.722	
17/02/2020 01:48:01	148	21.9	9.64	-12.539	-76.722	
17/02/2020 01:48:20	149	21.9	9.35	-12.539	-76.721	
17/02/2020 01:48:37	150	21.9	9.11	-12.539	-76.721	
17/02/2020 01:48:56	151	22.3	8.88	-12.539	-76.722	
17/02/2020 01:49:20	152	22.4	8.65	-12.539	-76.722	
17/02/2020 01:49:37	153	22.6	8.35	-12.539	-76.722	
17/02/2020 01:49:56	154	22.8	8.24	-12.539	-76.722	
17/02/2020 01:50:13	155	23	8.12	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:50:31	156	23.2	7.89	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:50:49	157	23.3	7.6	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:51:07	158	23.5	7.54	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:51:26	159	23.5	7.3	-12.538	-76.722	
17/02/2020 01:51:44	160	23.6	7.25	-12.537	-76.722	

17/02/2	02:06	186	21.9	-0.64	-76.724	
020	:51					
17/02/2	02:07	187		-0.99		
020	:52					
17/02/2	02:08	188	21.9	-1.1	-12.535	-76.724
020	:09					
17/02/2	02:08	189	21.9	-1.22	-12.535	-76.724
020	:34					
17/02/2	02:09	190	21.9	-1.45	-12.535	-76.724
020	:04					
17/02/2	02:09	191	22	-1.45	-12.536	-76.723
020	:21					
17/02/2	02:09	192	22	-1.51	-12.536	-76.723
020	:39					
17/02/2	02:10	193	22.1	-1.51	-12.536	-76.723
020	:04					
17/02/2	02:10	194	22	-1.51	-12.536	-76.723
020	:21					
17/02/2	02:10	195	22	-1.51	-12.536	-76.723
020	:39					
17/02/2	02:10	196	22	-1.51	-12.537	-76.723
020	:57					
17/02/2	02:11	197	22	-1.51	-12.537	-76.723
020	:15					
17/02/2	02:11	198	22	-1.63	-12.537	-76.723
020	:33					
17/02/2	02:11	199	21.9	-1.86	-12.537	-76.723
020	:51					
17/02/2	02:12	200	21.8	-1.86	-12.537	-76.722
020	:10					
17/02/2	02:12	201	21.8	-1.92	-12.538	-76.722
020	:28					
17/02/2	02:12	202	21.8	-1.86	-12.538	-76.722
020	:45					
17/02/2	02:13	203	21.8	-2.1	-12.538	-76.722
020	:03					
17/02/2	02:13	204	21.8	-2.21	-12.538	-76.722
020	:21					
17/02/2	02:13	205	22	-2.21	-12.539	-76.722
020	:39					
17/02/2	02:13	206	21.9	-2.39	-12.539	-76.722
020	:57					
17/02/2	02:14	207	22	-2.56	-12.539	-76.722
020	:15					
17/02/2	02:14	208	22	-2.56	-12.539	-76.722
020	:33					
17/02/2	02:14	209	22	-2.56	-12.539	-76.721
020	:51					
17/02/2	02:15	210	22	-2.74	-12.539	-76.721
020	:10					

17/02/2	02:15	211		22	-3.32	-12.539	-76.721
020	:27						
17/02/2	02:15	212		22.3	-2.91	-12.539	-76.721
020	:45						
17/02/2	02:16	213		22.4	-2.91	-12.539	-76.721
020	:03						
17/02/2	02:16	214		22.1	-2.91	-12.539	-76.721
020	:33						
17/02/2	02:16	215		22.1	-3.09	-12.539	-76.721
020	:51						
17/02/2	02:17	216		22.3	-3.26	-12.539	-76.721
020	:10						
17/02/2	02:17	217		22.5	-3.15	-12.539	-76.721
020	:28						
17/02/2	02:17	218		26.3	-3.32	-12.539	-76.721
020	:46						
17/02/2	02:18	219		27.4	-3.5	-12.539	-76.722
020	:03						
17/02/2	02:18	220		27.8	-3.97	-12.539	-76.722
020	:21						
17/02/2	02:18	221		26.6	-5.95	-12.538	-76.722
020	:40						
17/02/2	02:18	222		27.5	-5.43	-12.538	-76.722
020	:57						
17/02/2	02:19	223		27	-7.47	-12.537	-76.723
020	:16						
17/02/2	02:19	224		26.1	-7.7	-12.536	-76.723
020	:33						
17/02/2	02:19	225		25	-7.59	-12.535	-76.724
020	:51						
17/02/2	02:20	226		24.4	-8.46	-12.534	-76.724
020	:09						
17/02/2	02:20	227		24	-8.58	-12.532	-76.725
020	:27						
17/02/2	02:20	228		23.6	-8.99	-12.531	-76.726
020	:51						
17/02/2	02:21	229		23.3	-10.1	-12.53	-76.726
020	:09						
17/02/2	02:21	230	22.8	22			-76.728
020	:58						
17/02/2	02:22	231		22.7	-9.16	-12.52	-76.728
020	:15						
17/02/2	02:22	232	r2.6		-9.57	-12.525	-76.729
020	:33						
17/02/2	02:23	233		22.5	-8.75	-12.522	-76.73
020	:22						
17/02/2	02:47	234		21.9	-6.42		
020	:15						
17/02/2	02:47	235		21.9	-6.01	-12.536	-76.724
020	:45						

17/02/2	02:48	236	21.9	-6.36	-12.537	-76.723
020	:03					
17/02/2	02:48	237	21.8	-6.24	-12.539	-76.722
020	:21					

Apéndice O: Tabla de datos del nodo amarillo, prueba Chilca

created_at	,entry_id	field1	Temperatura	pH	Latitud	Longitud
16/02/2020	22:26:12	557	24.3	3.9	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:26:29	558	24.3	3.9	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:26:48	559	24.3	3.9	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:27:06	560	24.3	3.8	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:27:23	561	24.3	3.9	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:27:41	562	24.4	3.9	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:27:59	563	24.3	3.9	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:28:18	564	24.3	3.8	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:28:36	565	24.2	3.5	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:28:53	566	24.3	3.7	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:29:11	567	24.2	3.7	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:29:30	568	24.2	3.6	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:29:48	569	24.2	3.7	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:30:06	570	24.1	3.6	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:30:24	571	24.1	4	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:30:41	572	24.1	3.7	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:31:00	573	24	3.7	-12.1	-77.1
16/02/2020	22:35:00	574	22.7			-77.0757
16/02/2020	22:35:18	575	27			-77.0756
16/02/2020	22:40:24	576	22.7			-77.0755
16/02/2020	22:40:42	577	24.3			-77.0756
16/02/2020	22:41:00	578	24.3			-77.0755
16/02/2020	22:41:18	579	24.4			-77.0755
16/02/2020	22:41:36	580	24.4			-77.0756
16/02/2020	22:41:54	581	24.4			-77.0756
16/02/2020	22:42:12	582	24.2			-77.0756
16/02/2020	22:42:30	583	24.1			-77.0756
16/02/2020	22:42:48	584	24			-77.0756
16/02/2020	22:43:06	585	24			-77.0756
16/02/2020	22:43:24	586	23.8			-77.0756
16/02/2020	22:43:42	587	23.7			-77.0755
16/02/2020	22:44:00	588	23.7			-77.0756
16/02/2020	22:44:18	589	23.8			-77.0756
16/02/2020	22:44:36	590	23.8			-77.0756
16/02/2020	22:44:54	591	23.8			-77.0756
16/02/2020	22:45:12	592	23.8			-77.0756
16/02/2020	22:45:30	593	23.8			-77.0756
16/02/2020	22:45:48	594	23.8			-77.0756
16/02/2020	22:46:06	595	23.8			-77.0756
16/02/2020	22:46:24	596	23.6			-77.0756
16/02/2020	22:48:12	597	22.7			-77.0756
16/02/2020	22:48:29	598	23.5			-77.0755
16/02/2020	22:48:47	599	23.4			-77.0755
16/02/2020	22:49:05	600	23.5			-77.0755
16/02/2020	22:49:23	601	23.5			-77.0755

16/02/2020	22:51:24	602	22.7	5.88	-12.075	-77.076
16/02/2020	22:51:42	603	23.7	5.27	-12.075	-77.076
16/02/2020	22:51:59	604	23.4	4.81	-12.075	-77.076
16/02/2020	22:52:18	605	23	4.54	-12.075	-77.076
17/02/2020	01:33:01	606	24.3	5.46	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:33:26	607	24	4.46	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:33:50	608	23.2	3.81	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:34:08	609	23.2	4.82	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:34:25	610	23	4.74	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:34:44	611	25.4	4.69	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:35:01	612	26.8	4.94	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:35:20	613	29.3	5.25	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:35:50	614	29.3	4.62	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:36:14	615	29.1	4.9	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:36:37	616	27.8	4.76	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:36:55	617	25.9	5.29	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:37:14	618	24.3	5.25	-12.54	-76.721
17/02/2020	01:37:37	619				-76.721
17/02/2020	01:38:14	620	30.8	6.01	-12.541	-76.721
17/02/2020	01:38:37	621	30.7	5.89	-12.541	-76.721
17/02/2020	01:38:56	622	28.9	5.98	-12.541	-76.72
17/02/2020	01:39:14	623	25.5	6.06	-12.541	-76.72
17/02/2020	01:39:31	624	25.3	5.51	-12.541	-76.721
17/02/2020	01:39:50	625	22.7	5.68	-12.541	-76.721
17/02/2020	01:40:07	626	22.1	5.2	-12.541	-76.721
17/02/2020	01:40:25	627	22.7	5.19	-12.542	-76.721
17/02/2020	01:40:44	628	28.7	5.31	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:41:01	629	29.4	5.16	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:41:20	630	28.2	4.9	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:41:43	631	30."vieddĩĩ½=4.03			
17/02/2020	01:42:02	632	30.4	4.73	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:42:20	633	30.1	4.9	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:42:37	634	31	5.01	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:42:55	635	27.7	4.92	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:43:13	636	26.2	4.96	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:43:32	637	25.1	4.35	-12.542	-76.721
17/02/2020	01:44:02	638	23.7	4.73		
17/02/2020	01:46:02	639	21.8	3.98	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:46:44	640	21.6	4.2	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:47:01	641	21.6	4.73	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:47:20	642	21.5	5.34	-12.542	-76.72
17/02/2020	01:47:37	643	21.5fi5q<siĩ½ĩ½			
17/02/2020	01:47:55	644		5.11		-76.72
17/02/2020	01:48:13	645	21.5	5.02	-12.541	-76.721
17/02/2020	01:48:43	646	21.3	5.15	-12.541	-76.721
17/02/2020	01:59:01	647	21.3	3.03	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:59:20	648	21.2	3.23	-12.539	-76.721
17/02/2020	01:59:37	649	21.3	3.72	-12.539	-76.721

17/02/2020	01:59:55	650	21.3	4.24	-12.539	-76.721
17/02/2020	02:00:13	651	21.5	3.57	-12.539	-76.721
17/02/2020	02:00:31	652	22	4.25	-12.539	-76.721
17/02/2020	02:00:50	653	22.6	5.4	-12.539	-76.721
17/02/2020	02:16:21	654	22.6	4.63	-12.539	-76.721
17/02/2020	02:17:45	655	21.9	3.95	-12.539	-76.721
17/02/2020	02:48:28	656	22.4	2.8	-12.539	-76.722